

RAPPORT

MONITORING “BROERSBANK”

Project	Vlaamse Baaien – Monitoring “Broersbank”
Dossiernr	214339
Title	Monitoring Broersbank – Resultaten Modelleren (periode Dec 2015 – Mar 2016)
Document nr.	214339_R12_20161223
Auteur	Hana Ortega – KU Leuven Homayoon Komijani
Goedgekeurd	Jaak Monbaliu – KU Leuven
Date	23/10/2016 (draft) 23/12/2016

INHOUD

LIJST FIGUREN	3
LIJST TABELLEN	3
1. INLEIDING	4
1.1. OPZET VAN DE STUDIE	4
1.2. TE SIMULEREN PERIODE	6
2. STRUCTUUR VAN DE MODELLEN EN WEERHOUDEN SETTINGS	7
3. GOLFPARAMETERS, STATISTISCHE PARAMETERS EN KWALITEITSINDICATOREN.....	9
3.1. DEFINITIE GEBRUIKTE GOLFPARAMETERS	9
3.2. STATISTISCHE PARAMETERS VOOR DE VERGELIJKING VAN MODELRESULTATEN EN METINGEN	10
3.3. KWALITEITSINDICATOREN VOOR DE OPVOLGING VAN DE MODELRESULTATEN	11
3.3.1. <i>QI-indicator</i>	11
3.3.2. <i>S-Score</i>	11
4. RESULTATEN EN INDICATOREN	12
4.1. RESULTATEN	12
4.2. INDICATOR VOOR PERFORMANTIE GOLFMODELLERING.....	16
4.3. S-SCORE RESULTATEN EN TOEPASSING BIJ DE ANALYSE VAN STORMCONDITIES	17
5. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN.....	20
5.1. CONCLUSIES	20
5.2. AANBEVELINGEN VOOR VERDER ONDERZOEK.....	21
6. REFERENTIELIJST	22
ANNEX 1. SPECTRAL SCORE INDICATOR (S-SCORE).....	24
<i>S-score implementatie.</i>	24
ANNEX 2. GESELECTEERDE STORM CONDITIES (PERIODE DECEMBER 2015-MAART 2016)	25
ANNEX 3. TIJDREEKSEN VAN DE VOLLEDIGE MAAND MODEL BELANGRIJKSTE GOLFPARAMETERS	27
ANNEX 4. S-SCORE EN STORM ANALYSE	48
<i>Storm 14-16 januari 2016.</i>	48
<i>Storm 14-16 februari 2016.</i>	56
ANNEX 5. TIJDSLIJN STATISTISCHE PARAMETERS	64
REFERENCE TO THIS REPORT:.....	70

Lijst Figuren

Figuur 1. Locatie van de vijf boeien (rode cirkels).....	5
Figuur 2. MVB Westhinder directionele waverider boei Hm0 voor februari 2016.	8
Figuur 3. MVB Westhinder directionele waverider boei en BRB5DB boei Hm0 voor 2015.	8
Figuur 4. Westhinder, BRB5DB en Kwintebank Hm0 voor januari 2016.	8
Figuur 5. Statistische parameterwaarden per maand (links) en verloop statistische parameterwaarden (rechts) voor model settings CM50, CW50 en CM52 op locatie BRB1GB. Simulatie voor de volledige maand, periode december 2015-maart 2016.....	12
Figuur 6. Significante golfhoogte Hm0 voor februari 2016 met model settings CM50, CW50 en CM52 voor de 7 boeilocaties (zie ook op vorige pagina).....	14
Figuur 7. Hm0 voor storm 14-16 februari 2016 met model settings CM50, CW50 en CM52 voor de 7 boeilocaties.	15
Figuur 8. Modelresultaat Hm0, Tm02, piekgolfrichting en S-score voor storm 14-16 februari 2016 voor model settings CM50, CW50 en CM52 voor de boei op locatie BRB5DB.	18

Lijst Tabellen

Tabel 1. Benaming, locatie en diepte en van de boeien. Modellerings diepte.....	6
Tabel 2. Maand van onderhoud voor de verschillende boeien (periode december 2013- april 2016). Naam van de boei (A94 staat voor aKUST94) en opgemeten waterdiepte op de boeioppositie (aangeduid met de boeilocatienaam, zie Figuur 1).....	6
Tabel 3. Overzicht van de geselecteerde settings voor simulatie volledige meetperiode.....	7
Tabel 4. Start- en einddatum voor de geselecteerde stormen periode December 2015-mei2015.....	9
Tabel 5. Hm0 indicator per 3 maanden van december 2013 tot en met maart 2016. (*) de laatste periode beslaat 4 maanden.....	16
Tabel 6. Tm02 indicator per 3 maanden van december 2013 tot en met maart 2016. (*) de laatste periode beslaat 4 maanden.....	16
Tabel 7. Hm0 scatter index per maand van december 2015 tot en met maart 2016 op locatie BRB1GB en TRGGB1.	17
Tabel 8. Tm02 scatter index per maand van december 2015 tot en met maart 2016 op locatie BRB1GB en TRGGB1.	17
Tabel 9. Hm0 scatter index per storm van december 2015 tot en met maart 2016 op locatie BRB1GB en TRGGB1.	17
Tabel 10. Tm02 scatter index per storm van december 2015 tot en met maart 2016 op locatie BRB1GB en TRGGB1.	17

1. INLEIDING

1.1. Opzet van de studie

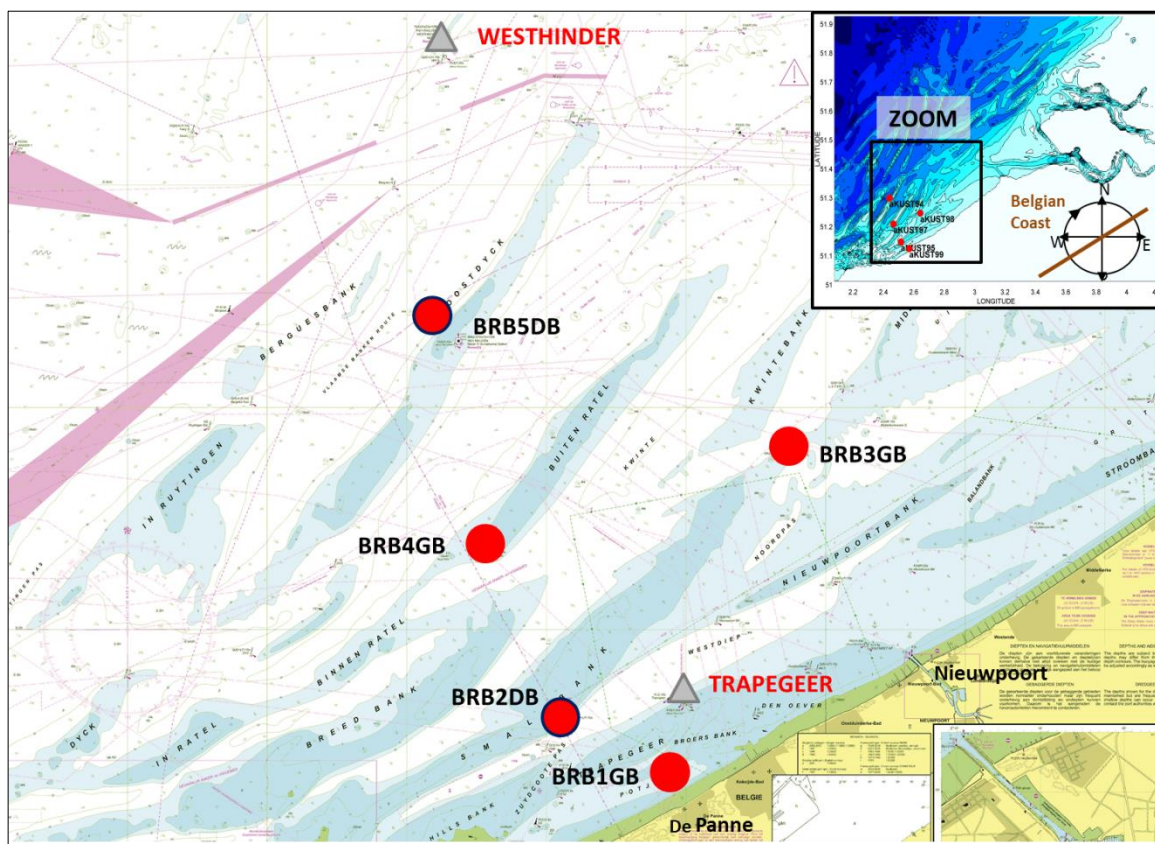
Het ophogen van zandbanken is één van de belangrijke deelprojecten van het vlaggenschipproject Vlaamse Baaien en één van de belangrijke hoofdstukken van het Masterplan 2050. Op dit ogenblik is er echter een leemte in de kennis waardoor het niet mogelijk is te besluiten of het ophogen van zandbanken al dan niet een efficiënte maatregel is om de kustveiligheid te verhogen. Het is daarom noodzakelijk dat men bepaalt in welke mate ondiepe (al dan niet artificieel verhoogde) zandbanken voor de kust een dempend effect (kunnen) hebben op (super) stormgolven die de kust bereiken. Deze (super)stormgolven belasten de zeewering en hun grootte speelt dus een belangrijke rol bij de bepaling van de veiligheid van de Vlaamse kust.

De doelstelling van het project 214339 “Vlaamse baaien – Monitoring Broersbank” is om de voortplanting, dissipatie en aangroei van golfenergie dat zich van offshore naar onze kust toe beweegt, te bestuderen enerzijds via metingen, anderzijds via numerieke modellering met behulp van spectrale golfmodellen. Dit project is een vervolgproject op project 212176 “Vlaamse baaien – Monitoring Broersbank”. De studie wordt uitgevoerd om het effect op de golfvoortplanting over ondiepe banken beter te begrijpen, waarbij bestaande golfmodellen kunnen getest worden en nieuwe, meer gedetailleerde golfmodellen kunnen ontwikkeld worden. De resultaten van dergelijke studies zijn dan ook zeer bruikbaar voor de optimalisatie van ontwerpen van maatregelen voor kustverdediging.

Wat betreft metingen zijn er eind november 2013 vijf golfboeien (2 directionele en 3 niet-directionele) uitgelegd. De boeien zijn zo gepositioneerd dat ze een goed beeld kunnen geven van het verloop van de voortplanting en de dissipatie van de energie over de verschillende zandbanken. Er werden reeds een aantal rapporten gemaakt met betrekking tot de performantie van de metingen en het data-acquisitie systeem (zie Rapporten van het voorgaande project 212176 (R01-R05, R07, R09 en R10) en in dit project 214339 (R01-R03 en R5-R09) in de REFERENTIELIJST. Dit rapport bevat de resultaten van de modellering voor de periode december 2015-maart 2016 (zie cf. rapport 212176-R06-20150515 waar de periode December 2013-Februari 2015 werd Het basisidee blijft om met behulp van modellen de golfenergie in het volledige Belgische kustgebied te simuleren met bijzondere aandacht voor de zone van de Westkust waar de boeien zijn uitgelegd. Indien het modelleerwerk en de metingen perfect zouden zijn, dan zouden de metingen en de resultaten van het model perfect moeten overeenkomen. Dit is natuurlijk niet het geval. We nemen aan dat de metingen ‘beter’ zijn dan het model en we proberen het model zo aan te passen dat de modelresultaten zo goed mogelijk de metingen benaderen door te sleutelen aan verschillende deelcomponenten van het model. Componenten van een model

zijn zowel de input die nodig is, zoals wind, bathymetrie, randvoorwaarden (golfcondities op de rand van het model), enz..., als de wiskundige formuleringen voor de fysische processen die plaatsvinden, zoals diepte-geïnduceerde breking en bodemwrijving. Noteer dat in de wiskundige formulering van een fysisch proces vaak ook nog parameters gekalibreerd worden (bijvoorbeeld de wrijvingsparameter zal afhangen van de bodemkarakteristieken).

De eerste stap in de modellering was het opzetten van een genest rekenmodel ("Nested Coupled System", verder in dit rapport wordt de afkorting NCS gebruikt). Dit werd in detail beschreven in de Rapport 212176-R06-20150515 (REFERENTIELIJST). Met deze opzet kunnen randvoorwaarden gecreëerd worden om een gedetailleerd model voor de Belgische kust aan te drijven. De 5 boeien die in het kader van dit project werden uitgelegd en twee boeien uit het meetnet Vlaamse banken (Westhinder en Trapegeer), leveren de data aan die nodig zijn om te vergelijken met de resultaten bekomen uit de modellen (zie Figuur 1 en Tabel 1). In Tabel 1 zijn naast de dieptes die opgemeten zijn bij het onderhoud van de boeien, ook de dieptes weergegeven die in het model op die locaties worden gebruikt. Die komen niet perfect overeen. Het is op dit moment niet duidelijk wat het effect daarvan is op de berekende golfparameters gezien gemeten en berekende golfhoogtes niet eenduidig gerelateerd zijn aan de lokale waterdiepte.



Figuur 1. Locatie van de vijf boeien (rode cirkels).

LOCATIE	Breedtegraad	Lengtegraad	Diepte (m LAT)	Modellering Diepte (m LAT)	Diepte Verschil (m)
WHI	51.3888	2.4483	25.9	21.9	4.0
BRB5DB	51.2847	2.4394	21.8	22.7	-0.9
BRB3GB	51.2323	2.6413	8.0	10.7	-2.7
BRB4GB	51.1950	2.4656	3.6	4.1	0.4
BRB2DB	51.1330	2.5145	14.4	10.8	3.6
BRB1GB	51.1100	2.5700	7.1	6.0	1.1
TRGGB1	51.1375	2.5830	3.4	4.0	-0.6

Tabel 1. Benaming, locatie en diepte en van de boeien. Modellering diepte.

1.2. Te simuleren periode

Dit rapport geeft een samenvatting van de simulaties voor de volledige periode december 2015-maart 2016 van de meetcampagne met bijzondere aandacht voor de evenementen met hoge energie (stormen) uit noordelijke richting. Voor die periode beschikken we over alle metingen afkomstig van de geheugenkaarten uit de golfboeien (zie Tabel 2). Die werden immers uitgelezen in de periode februari-april 2016 bij het finale onderhoud van de boeien. Uit de berekeningen worden per maand of per storm een aantal statistische parameters (sectie 3) afgeleid die tot op zekere hoogte een oordeel geven over hoe goed de modellen in staat zijn de gemeten situaties ook te modelleren.

		2013	2014												2015												2016					
		N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	
BRB5DB	boei	A94				A95						A95 *	A94								A93											x
	diepte (m LAT)	24,5				21,0						21,8	21,8								21.8											
BRB3GB	boei	A98				A96						A96									A96									x		
	diepte (m LAT)	8,0				8,0						8,1									8,1											
BRB4GB	boei	A97				A98						A99									A98								A97			x
	diepte (m LAT)	4,5				4,5						4,5									4,5							3,6				
BRB2DB	boei	A95				A93						A93								A95					A94							x
	diepte (m LAT)	14,4				14,4						14,4							\					14,4								
BRB1GB	boei	A99				A97						A98								A97				A99								x
	diepte (m LAT)	7,2				7,2						7,1							\				7,1									

* Boei op drift en daaropvolgend vervangen in de maand oktober; X : ophalen.

* Boei op drift en daaropvolgend vervangen in de maand oktober; X : ophalen.

Tabel 2. Maand van onderhoud voor de verschillende boeien (periode december 2013- april 2016). Naam van de boei (A94 staat voor aKUST94) en opgemeten waterdiepte op de boei positie (aangeduid met de boeilocatienaam, zie Figuur

1).

2. STRUCTUUR VAN DE MODELLEN EN WEERHOUDEN SETTINGS

Voor gedetailleerde informatie met betrekking tot de structuur van het model wordt verwezen naar Sectie 2 van voorgaand rapport 212176-R06-20150515 (zie REFERENTIELIJST). In dit rapport wordt ook het eerdere onderzoek ter bepaling van de modelsettings uiteengezet. Uiteindelijk werden volgende inputs en settings weerhouden voor verdere modellering:

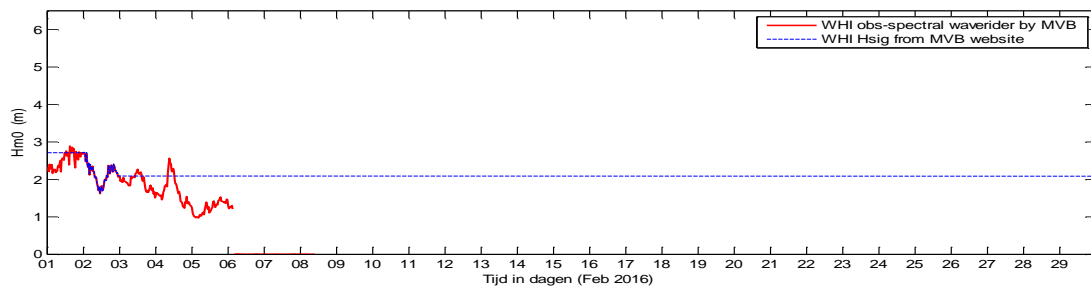
1. Windvelden: ERA-Interim* correction factor (1.06).
2. Waterstanden en stromingen (U,V): afkomstig van het gekoppeld COHERENS model (NCS)
3. Bathymetrische data: 'WL 14_KZ-emodnet' (zie sectie 2.1.3 in rapport 214341_R03 in REFERENTIELIJST)
4. Golfmodellering: kuststrookmodel
5. Tijdstap golfmodel: 10 minutes
6. Golfrandvoorwaarden:
 - Berekende golfspectra (WAM-model) opgelegd op de rand van het kuststrookmodel: → **CW50**
 - Gemeten golfspectra op locatie WHI opgelegd op west-, noord-, en ooststrand van het kuststrookmodel: → **CM50 (*)**
7. Bodemwrijving:
 - Standaard bodemwrijving (=CM50)
 - Halvering van de bodemwrijvingscoëfficiënt → **CM52(*)**

Samengevat worden dus volgende settings weerhouden voor de simulatie van de volledige meetperiode:

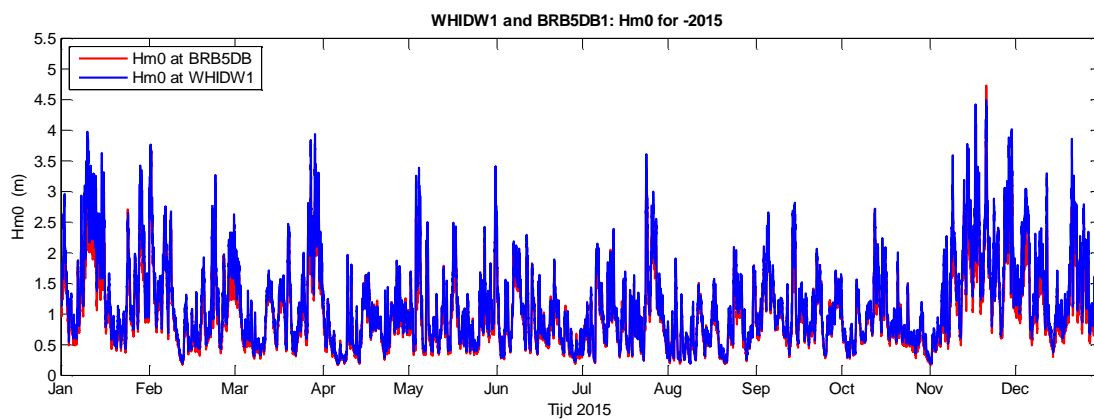
Run Code	Main settings
CM50 (*)	'WL 14_KZ-emodnet' Default bodemwrijving Jonswap = 0.067
CW50	'WL 14_KZ-emodnet' Default bodemwrijving Jonswap = 0.067
CM52 (*)	CM50 maar met wrijvingsconstante bodemwrijving Jonswap = 0.0335
(*) Voor de periode januari-maart 2016 werden de spectra van de directionele boei BRB5DB opgelegd op de rand van het kuststrookmodel omwille van problemen met de boeigegevens van de Westhinderboei.	

Tabel 3. Overzicht van de geselecteerde settings voor simulatie volledige meetperiode.

Zoals vermeld in Tabel 3, werd er voor de modellering met gemeten randvoorwaarden (modelsettings CM50 en CM52) voor de maanden januari tot en met maart 2016 niet de gemeten directionele spectra op Westhinder maar de gemeten directionele spectra op boeilocatie BRB5DB gebruikt omdat er een aantal dataleemtes zijn op locatie Westhinder (zie als voorbeeld de maand februari in Figuur 2). De BRB5DB boei is nog altijd vrij dicht bij de rand van het kuststrookmodelgebied. Ook de waterdiepte is nog vrij aanzienlijk (nog 22 m LAT in vergelijking met 26 m LAT op locatie Westhinder, zie Tabel 1). Als een snelle controle kan men in Figuur 3 zien dat de significante golfhoogte op beide locaties vrij goed overeenkomen.

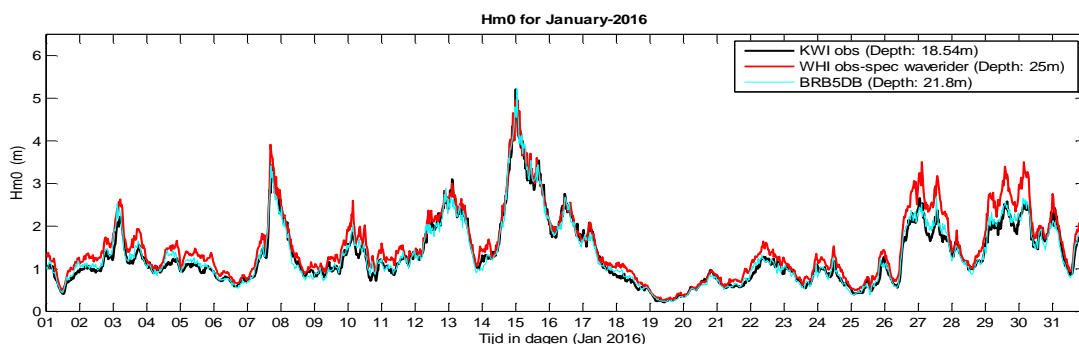


Figuur 2. MVB Westhinder directionele waverider boei Hm0 voor februari 2016.



Figuur 3. MVB Westhinder directionele waverider boei en BRB5DB boei Hm0 voor 2015.

Bijkomend werd nog een extra controle gedaan op de significante golfhoogte in de maand januari 2016 door te kijken naar de meetgegevens op de Kwintebank (diepte 18.5 m LAT) en die te vergelijken met de meetgegevens op locatie Westhinder en op locatie BRB5DB. Deze vergelijking wordt getoond in Figuur 4. Alhoewel dit niet de conclusie is van een diepgaand onderzoek, wordt hier aangenomen dat het gebruik van de boeigegevens op locatie BRB5DB, gezien de vrij goede overeenkomst van de golfhoogtes, een goed alternatief is bij ontbrekende gegevens op Westhinder.



Figuur 4. Westhinder, BRB5DB en Kwintebank Hm0 voor januari 2016.

De modelsimulaties samengevat in dit rapport zijn gedaan voor de periode december 2015 tot en met maart 2016, en de statistische parameters zijn samengevat per maand voor de berekening van de volledige maand.

Daarbovenop werden twee stormcondities in meer detail bekeken. De stormen zijn geselecteerd op basis van relatief hoge significante golfhoogtes en komende uit richtingen noordwest en noord, zie sectie 4.3.4 van rapport 212176-R06-20150515. In ANNEX 2. GESELECTEERDE STORM CONDITIES (periode december 2015-maart 2016) kunnen de gedetailleerde criteria teruggevonden worden om tot de stormen te komen in onderstaande Tabel 4:

Storm ID	Startdatum	Einddatum	Maand
18	14 jan 2016 10:00	16 jan 2016 00:00	januari 2016
19	14 feb 2016 10:00	16 feb 2016 00:00	februari 2016

Tabel 4. Start- en einddatum voor de geselecteerde stormen periode December 2015-mei2015.

3. GOLFPARAMETERS, STATISTISCHE PARAMETERS EN KWALITEITSINDICATOREN

3.1. Definitie gebruikte golfparameters

De golfparameters gebruikt in deze studie worden afgeleid uit het spectrum. Om onderstaande definities te begrijpen wordt eerst het begrip moment m_x van een energiespectrum gedefinieerd.

$$m_x = \int f^x E(f) df \quad ; [m]$$

$E(f)$ is daarbij de energie-inhoud van het spectrum (in m^2s) bij een bepaalde frequentie f .

Met deze definitie kunnen dan gemakkelijk andere parameters gedefinieerd worden.

$Hm0$: significante golfhoogte (H_s) gebaseerd op het nulmoment (m_0) van het energiespectrum.

$$Hm0 = 4\sqrt{m_0} \quad ; [m]$$

T_m is een gemiddelde periode gebaseerd op m_{-1} . Het is een vrij robuuste parameter voor de golfperiode omdat lagere frequenties zwaarder doorwegen.

$$T_m = \frac{m_{-1}}{m_0} \quad ; [s]$$

T_{m1} is een gemiddelde periode gebaseerd op m_1 .

$$T_{m1} = \frac{m_0}{m_1} \quad ; [s]$$

T_{m2} is een gemiddelde periode gebaseerd op m_2 . Deze periode wordt veel gebruikt omdat deze periode vrij goed overeenkomt met de zogenaamde 'zero upcrossing period', een periode die verkregen wordt bij tijdsanalyse van golfboesignalen.

$$T_{m2} = \sqrt{\frac{m_0}{m_2}} \quad ; [s]$$

3.2. Statistische parameters voor de vergelijking van modelresultaten en metingen

De volgende veel gebruikte statistische parameters werden weerhouden om modelresultaten en meetgegevens te vergelijken.

$$RMSE = \left\{ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - y_i)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad ; \text{Root mean square error.}$$

$$BIAS = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - x_i) \quad ; \text{Bias.}$$

$$SI = \frac{RMSE}{|\bar{x}|} \quad ; \text{Scatter index.}$$

$$CO = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{x_i - \bar{x}}{S_x} \right) \left(\frac{y_i - \bar{y}}{S_y} \right) \quad ; \text{Correlatiecoëfficiënt.}$$

; S_x en S_y zijn de standaardafwijkingen.

Hierbij wordt met 'x' verwezen naar de boedata en met 'y' naar de resultaten uit het model. Voor de BIAS parameter betekent dit dat een negatieve waarde wijst op een onderschatting en een positieve waarde tot een overschatting door het model t.o.v. de metingen.

Deze statistische parameters helpen ons om enerzijds het model te kalibreren (keuze model settings), anderzijds het model te valideren (opvolgen van de modelresultaten voor periodes niet betrokken in de validatie).

3.3. Kwaliteitsindicatoren voor de opvolging van de modelresultaten

3.3.1. QI-indicator

Een set van ‘eenvoudige’ indicators vastleggen om de kwaliteit van de resultaten van modellen te beoordelen is altijd een moeilijke evenwichtsoefening. Dergelijke set moet klein zijn om overzichtelijk te blijven enerzijds, maar moet toch nog voldoende omvattend zijn om een oordeel te kunnen vellen anderzijds. In overleg met de opdrachtgever werd in de vorige studie (project 212176 “Vlaamse baaien – Monitoring Broersbank”) vastgelegd om met de onderstaande kwaliteitsindicatoren te werken:

- 3-maand gemiddelde SI van de Hsig op de locaties BRB1GB en TRGGB1.
- 3 maand gemiddelde SI van de periode Tm02 van de locaties BRB1GB en TRGGB1.

$$QI_{3maanden} = \frac{SI_{all\ cond\ BRB1GB} + SI_{all\ cond\ TRGGB1}}{2} \quad ; \text{gemiddelde SI volledige maand.}$$

$$QI_{stormen} = \frac{(SI_{storm\ cond\ BRB1GB} + SI_{storm\ cond\ TRGGB1})}{2} \quad ; \text{gemiddelde SI voor storm condities.}$$

3.3.2. S-Score

Tot op heden werden de modelvoorspellingen dus beoordeeld aan de hand van indicators die de overeenkomst tussen de gemeten en gemodelleerde golfparameters, bv. H_{m0} en T_{m02} , weergeven. Alhoewel de overeenkomst tussen de geobserveerde en voorspelde golfparameters goed kan zijn, wijken de gemeten en voorspelde golfspectra in sommige gevallen significant af. In deze omstandigheden zijn eenvoudige golfparameters alleen niet voldoende om de reeks golfcondities die kunnen voorkomen op een bepaalde plaats, te beschrijven (Dabbi *et al.*, 2015). Daarom werd een parameter ontwikkeld om de vorm van het gegenereerde frequentiespectrum te beoordelen; de Spectral Score Indicator of S-score. Deze parameter heeft als doel te meten hoe goed de vorm van het golfspectrum gereproduceerd wordt door de modellering. Zowel het gemodelleerde spectrum als het geobserveerde spectrum worden genormaliseerd, zodat de oppervlakte onder beide spectra 1 wordt. Daarnaast wordt hun frequentie-inhoud in n frequentiebanden onderverdeeld. Deze onderverdeling is identiek voor beide spectra. De S-score wordt dan gedefinieerd als:

$$S_{score} = \sum_{1}^n \min(S_{MODEL}^{normalized}, S_{OBSERVATION}^{normalized}) \Delta f_n$$

Δf_n is de breedte van het frequentie-interval voor de n -de frequentie in het energiespectrum.

De waarde van de S-score ligt tussen 0 en 1. Bij een perfecte overeenkomst krijgt men een waarde 1. De berekening van deze indicator wordt in detail besproken in ANNEX 1. SPECTRAL SCORE INDICATOR (S-score) en R04_20160718 in REFERENTIELIJST.

4. RESULTATEN EN INDICATOREN

4.1. Resultaten

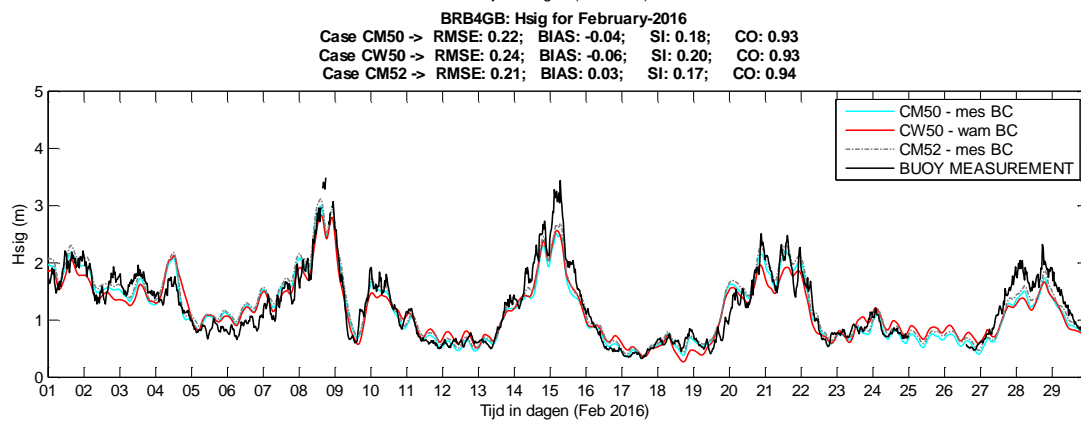
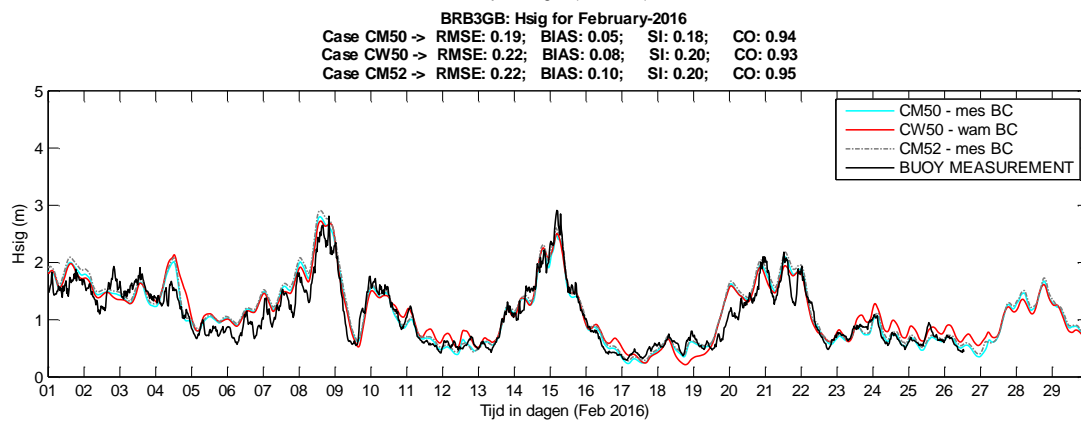
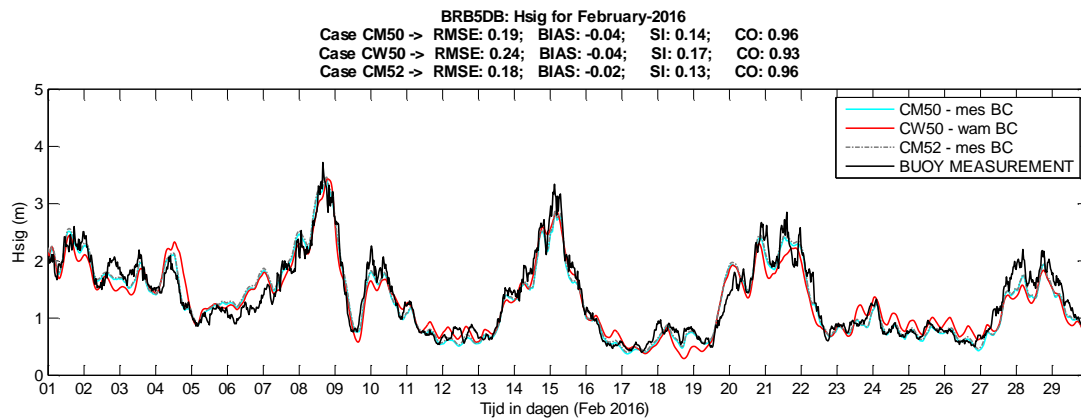
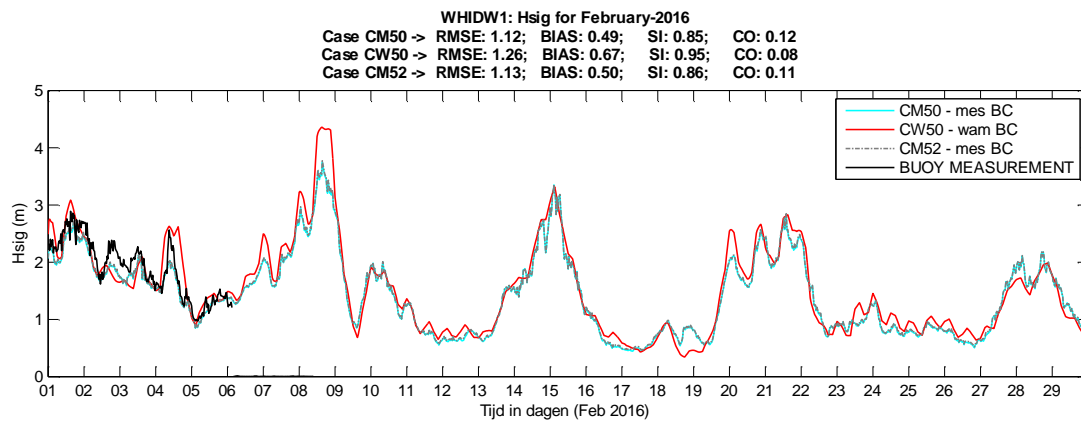
Zoals hierboven vermeld, werd de periode van december 2015 tot en met maart 2016 (4 maanden) gemodelleerd voor 'alle condities' en voor 'storm condities'.

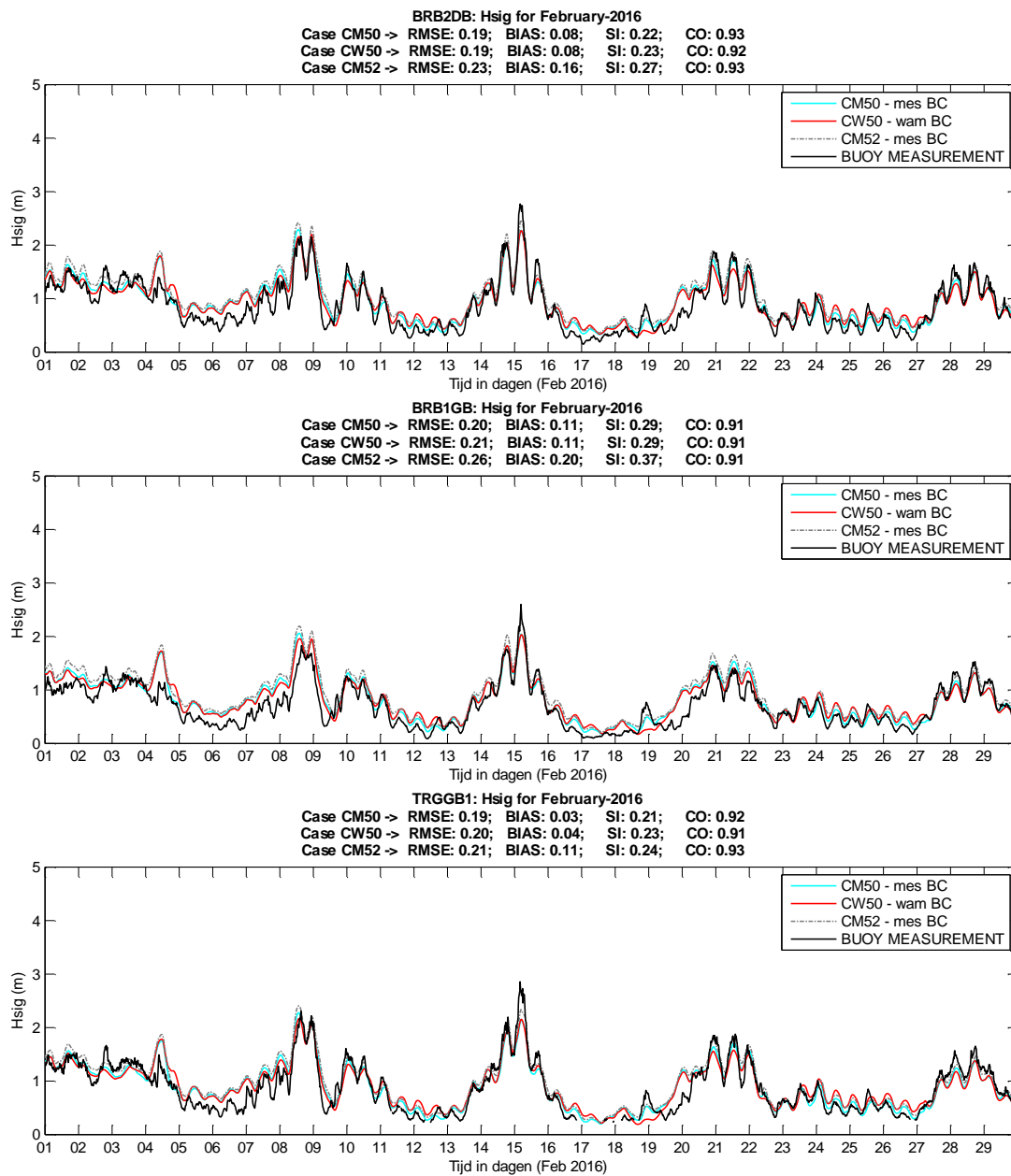
De verkregen golfhoogte H_{m0} , periode T_{m02} en piekgolfrichting (alleen voor de directionele boeien) worden systematisch geplot voor 'alle condities' en 'storm condities' voor de 7 boeilocaties (WHI, Trapegeer en de 5 boeien die speciaal voor deze campagne zijn uitgelegd). Zie voorbeeldplots voor H_{m0} voor de volledige maand februari 2016 in Figuur 6 en voor de geselecteerde storm in die maand in Figuur 7. In elke figuur worden de 4 statistische parameters (RMSE, BIAS, SI en CO) getoond. Alle andere tijdreeksen voor 'alle condities' zijn terug te vinden in ANNEX 3. TIJDREEKSEN VAN DE VOLLEDIGE MAAND MODEL BELANGRIJKSTE GOLFPARAMETERS.

Om toch op een iets meer overzichtelijke manier al deze statistische parameters te kunnen overzien (3 settings voor het model x 2 parameters H_{m0} en T_{m02} x 4 statistische parameters RMSE, BIAS, SI en CO x 7 locaties x aantal gesimuleerde maanden en het aantal geselecteerde stormen), worden de statistische parameters weergegeven zoals in Figuur 2. Alle andere tabellen en figuren voor de periode december 2015 tot en met maart 2016 zijn terug te vinden in ANNEX 5. TIJDSLIJN STATISTISCHE PARAMETERS.

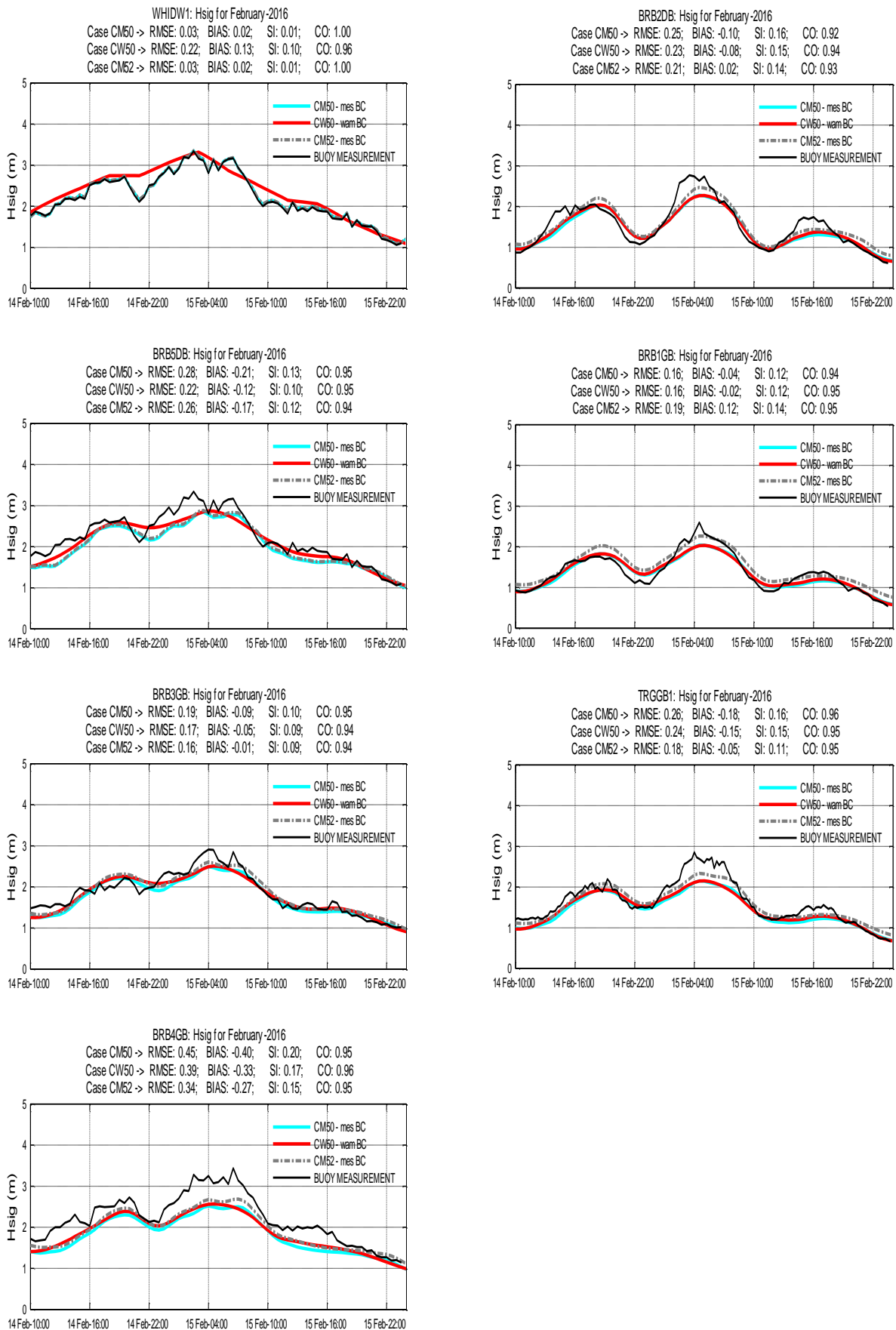
H_{m0}	BRB1GB	December 2015	Januari 2016	Februari 2016	Maart 2016
RMSE	CM50	0.31	0.26	0.20	0.22
	CW50	0.29	0.24	0.21	0.23
	CM52	0.37	0.32	0.26	0.25
BIAS	CM50	0.27	0.19	0.11	0.12
	CW50	0.25	0.17	0.11	0.12
	CM52	0.34	0.27	0.20	0.18
SI	CM50	0.70	0.44	0.29	0.39
	CW50	0.66	0.41	0.29	0.41
	CM52	0.84	0.54	0.37	0.44
CO	CM50	0.84	0.93	0.91	0.84
	CW50	0.83	0.94	0.91	0.82
	CM52	0.85	0.94	0.91	0.86

Figuur 5. Statistische parameterwaarden per maand (links) en verloop statistische parameterwaarden (rechts) voor model settings CM50, CW50 en CM52 op locatie BRB1GB. Simulatie voor de volledige maand, periode december 2015-maart 2016.





Figuur 6. Significante golfhoogte Hm0 voor februari 2016 met model settings CM50, CW50 en CM52 voor de 7 boeilocaties (zie ook op vorige pagina)



Figuur 7. Hm0 voor storm 14-16 februari 2016 met model settings CM50, CW50 en CM52 voor de 7 boeilocaties.

4.2. Indicator voor performantie golfmodellering

Als indicator voor de performantie van het model werd gekozen voor een driemaandelijke gemiddelde Scatter Index voor elk van de drie weerhouden model settings en dit voor zowel H_{m0} als T_{m02} . Uit de waarden voor de aldus verkregen indicator, wordt de kleinste waarde weerhouden (dus het resultaat van de modelsetting met het beste resultaat) en deze waarde wordt aangeduid met 'QI_3maand' wanneer ze berekend wordt aan de hand van de waarden voor de volledige maand, en met 'QI_storm' indien ze berekend wordt uit de waarden die afkomstig zijn uit stormcondities (zie Tabel 5 voor H_{m0} indicator en Tabel 6 voor T_{m02}). De formules voor deze parameters zijn terug te vinden in sectie 3.3. Om de behaalde resultaten overzichtelijk te houden worden deze indicatoren enkel berekend voor de locaties die het dichtst bij de kust liggen met name boeilocatie Trapegeer (TRGGB1) en boeilocatie 1 (BRB1GB),. Een goede modellering voor deze locaties is belangrijk om de impact van de golfenergie op de kustlijn te kennen. Deze indicatoren zijn gebaseerd op maandelijkse of stormwaarden voor de Scatter Indices voor de boeien op locatie TRGGB1 en BRB1GB (terug te vinden in Tabel 7-Tabel 10 voor bijvoorbeeld de gesimuleerde significante golfhoogtes, H_{m0} , en gemiddelde periode, T_{m02}).

Hm0	Dec 2013-Feb 2014	Mar-Mei 2014	Jun-Aug 2014	Sep-Nov 2014	Dec2014-Feb2015	Mar-Mei 2015	Jun-Aug 2015	Sep-Nov 2015	Dec 2015-Mar 2016
QI_3maand	0.48	0.29	0.26	0.40	0.29	0.28	0.30	0.27	0.32
QI_stormen	0.23	0.16	0.16	0.21	0.26	0.16	0.23	0.19	0.09

Tabel 5. H_{m0} indicator per 3 maanden van december 2013 tot en met maart 2016.

(*) de laatste periode beslaat 4 maanden

Tm02	Dec 2013-Feb 2014	Mar-Mei 2014	Jun-Aug 2014	Sep-Nov 2014	Dec2014-Feb2015	Mar-Mei 2015	Jun-Aug 2015	Sep-Nov 2015	Dec 2015-Mar 2016
QI_3maand	0.13	0.12	0.12	0.13	0.10	0.11	0.12	0.10	0.12
QI_stormen	0.10	0.10	0.11	0.09	0.12	0.10	0.09	0.06	0.05

Tabel 6. T_{m02} indicator per 3 maanden van december 2013 tot en met maart 2016.

(*) de laatste periode beslaat 4 maanden

Hm0	BRB1GB	Dec2015	Jan2016	Feb2016	Mar2015
5	CM50	0.70	0.44	0.29	0.39
	CW50	0.66	0.41	0.29	0.41
	CM52	0.84	0.54	0.37	0.44

Hm0	TRGGB1	Dec2015	Jan2016	Feb2016	Mar2016
5	CM50	0.45	0.31	0.21	0.28
	CW50	0.43	0.30	0.23	0.31
	CM52	0.54	0.36	0.24	0.30

Tabel 7. Hm0 scatter index per maand van december 2015 tot en met maart 2016 op locatie BRB1GB en TRGGB1.

Tm02	BRB1GB	Dec2015	Jan2016	Feb2016	Mar2016
5	CM50	0.14	0.15	0.12	0.13
	CW50	0.13	0.16	0.13	0.12
	CM52	0.15	0.16	0.14	0.14

Tm02	TRGGB1	Dec2015	Jan2016	Feb2016	Mar2016
5	CM50	0.10	0.10	0.09	0.09
	CW50	0.10	0.12	0.11	0.09
	CM52	0.10	0.10	0.09	0.09

Tabel 8. Tm02 scatter index per maand van december 2015 tot en met maart 2016 op locatie BRB1GB en TRGGB1.

Hm0	BRB1GB	Dec2015	Jan2016	Feb2016	Mar2016
5	CM50	/	0.07	0.12	/
	CW50	/	0.07	0.12	/
	CM52	/	0.08	0.14	/

Hm0	TRGGB1	Dec2015	Jan2016	Feb2016	Mar2016
5	CM50	/	0.11	0.16	/
	CW50	/	0.10	0.15	/
	CM52	/	0.08	0.11	/

Tabel 9. Hm0 scatter index per storm van december 2015 tot en met maart 2016 op locatie BRB1GB en TRGGB1.

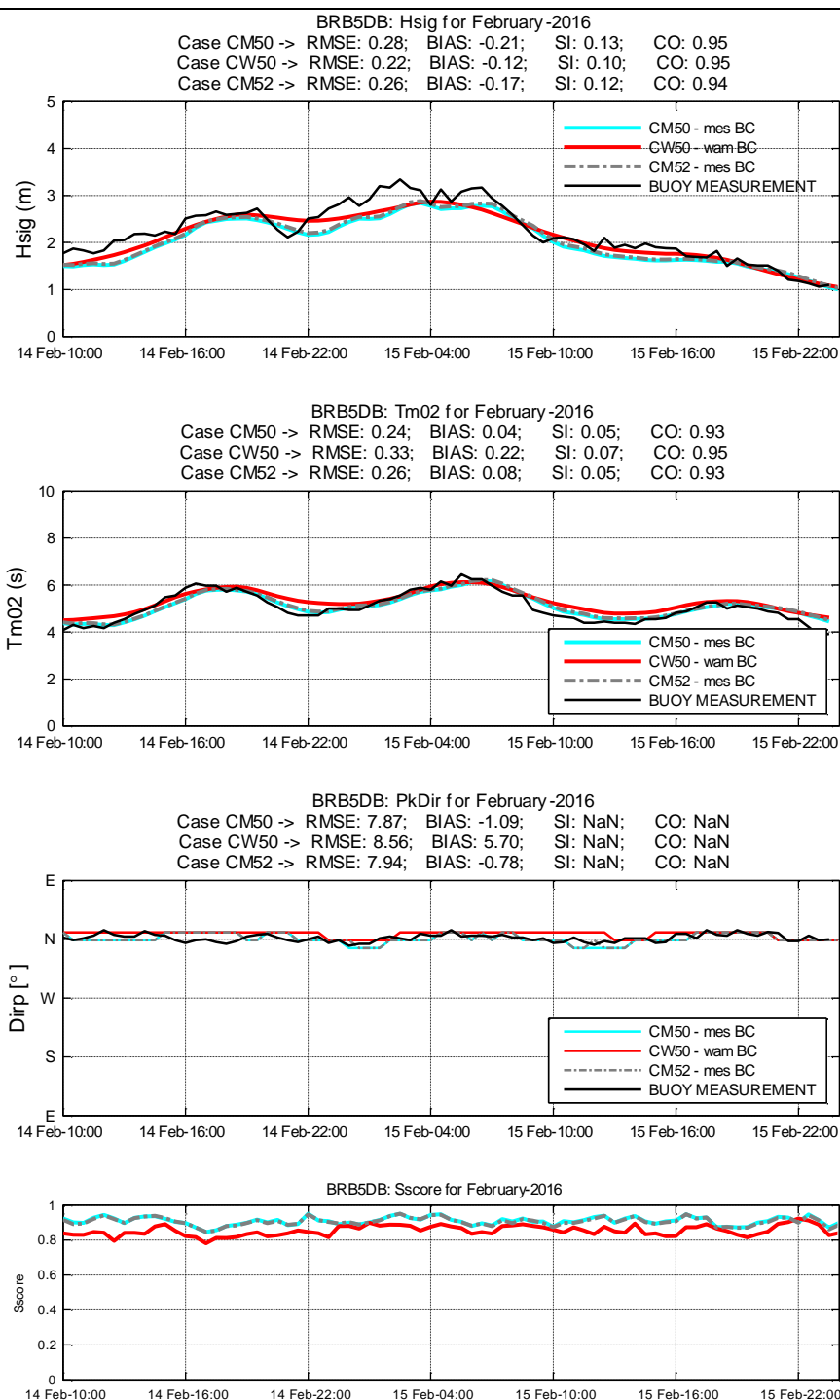
Tm02	BRB1GB	Dec2015	Jan2016	Feb2016	Mar2016
5	CM50	/	0.05	0.06	/
	CW50	/	0.05	0.07	/
	CM52	/	0.06	0.11	/

Tm02	TRGGB1	Dec2015	Jan2016	Feb2016	Mar2016
5	CM50	/	0.06	0.06	/
	CW50	/	0.06	0.05	/
	CM52	/	0.04	0.05	/

Tabel 10. Tm02 scatter index per storm van december 2015 tot en met maart 2016 op locatie BRB1GB en TRGGB1.

4.3. S-score resultaten en toepassing bij de analyse van stormcondities

De S-score werd berekend voor de stormen tijdens de beschouwde periode (zie ANNEX 1. SPECTRAL SCORE INDICATOR (S-score)). Het is in het bijzonder interessant om deze resultaten in parallel te bekijken met Hm0, Tm02 en Dirp. Als voorbeeld wordt dit voor boei BRB5DB getoond in Figuur 8. Voor de andere locaties is deze vergelijking terug te vinden in ANNEX 4. S-SCORE EN STORM ANALYSE.



Figuur 8. Modelresultaat Hmo, Tm02, piekgolfriching en S-score voor storm 14-16 februari 2016 voor model settings CM50, CW50 en CM52 voor de boei op locatie BRB5DB.

De S-score een eenvoudige en accurate methode is om de overeenkomst van het model wat betreft de vorm van het frequentiespectrum weer te geven. Daarom wordt voorgesteld om deze nieuwe indicator, complementair met andere statistieken, te gebruiken om de performantie van het golfmodel bij het reproduceren van de golfobservaties met gegeven input, te beoordelen. Deze indicator is bijzonder handig om de spectra die alvast qua vorm niet accuraat gereproduceerd worden, te identificeren. Aangezien dit een grote

beperking is bij de modellering, zal deze parameter ons helpen om een betere selectie te maken van de te beschouwen gevallen voor verder onderzoek.

Alhoewel het moeilijk tot niet mogelijk is om de kwaliteit van de huidige resultaten eenduidig te vergelijken met modelsimulaties voor de aanvang van deze studie, werden in de rapporten van het BOREAS project (Mathys et al., 2011) statistische parameters gevonden van gelijkaardige berekeningen. Toch durven we te stellen dat er een merkbare verbetering is, in het bijzonder voor de berekende gemiddelde periodes (T_{m02}). De waarde van de bias zijn verschoven van een grootte orde 1s naar een grootte orde 0.25 s op locatie Westhinder. Ook root mean square error (RMSE) en scatter index (SI) zijn kleiner geworden. Voor de locaties dicht bij de kust (Bol van Heist in de Boreas studie en Trapegeer in deze studie) zien we ook een verbetering in de bias, rms error en scatter index voor de berekende gemiddelde periode T_{m02} . De verbeteringen voor de statistische parameters met betrekking tot de significante golfhoogte zijn iets minder spectaculair maar toch nog aanzienlijk. Bias blijft ongeveer hetzelfde (dicht bij nul), RMSE en SI verminderen met ongeveer 1/3. We mogen dus besluiten dat de implementatie van deze set van modellen nauwkeuriger resultaten geeft in vergelijking met die van uit de vroegere BOREAS studie.

5. Conclusies en aanbevelingen

5.1. Conclusies

Onderstaande conclusies zijn gebaseerd op de resultaten van de modellering voor de periode september-november 2015 en de 2 geselecteerde stormen. De modelleringsopzet blijft hetzelfde als in voorgaande modellering (zie sectie 2 en rapport 212176-R06-20150515). Alhoewel de kwaliteitsindicatoren voor de 3 modelleringsgevallen een gelijkaardig gedrag vertonen als voor de modellering van de voorgaande maanden (zie indicatoren in Tabel 5 en Tabel 6), kunnen toch enkele specifieke observaties gedaan worden met betrekking tot de modellering voor de periode december 2015-maart 2016:

- De kwaliteitsindicatoren werden deze keer uitgerekend voor een periode van 4 maanden (i.p.v. de gebruikelijke 3 maanden). De bekomen indicatorwaardes (waardes voor Hm0 in Tabel 5 en voor Tm02 in Tabel 6) voor de volledige periode zijn vergelijkbaar met de waardes uit voorgaande periodes zowel wat betreft de significante golfhoogte Hm0 als wat betreft de gemiddelde periode Tm02. De indicatoren voor de stormperiodes lijken beter voor deze periode. Gezien het hier over slechts twee stormen gaat, is het niet direct duidelijk of dit puur toeval is of eerder te maken heeft met de aangelegde randvoorwaarden.
- De individuele waardes voor statistische parameters (bias, rmse, SI en CO) zijn vrij gelijklopend voor de 3 parameter settings. Merk op dat de statistische parameters die terug te vinden zijn bovenaan de figuren in appendix (Figuur 3.7 tot Figuur 3.12) voor de locatie Weshinder niet correct zijn (er is geen rekening gehouden met het feit dat er problemen waren met deze specifieke boei).
- De golfcondities (Hm0, Tm02 en de golfrichting) op Westhinder werden vrij goed gereproduceerd met het Noordzeemodel. Deze gesimuleerde spectra worden opgelegd aan de rand van het kuststrookmodel bij de simulatie met parametersettings CW50. Voor deze periode van 4 maanden stellen we net als in de vorige periodes vast dat de waardes voor de statistische parameters op de boeilocaties dicht bij de kust bij de simulaties met het kuststrookmodel met parameter setting CM52 (gemeten golfspectrum als randvoorwaarde maar met lagere bodemwrijvingswaarde) bijna systematisch minder goed zijn dan bij de simulaties met de andere parameter settings (Figuur 5.6 tot Figuur 5.12). Dit bevestigt dat een halvering van de wrijvingsparameter (aanbevolen als default waarde in de meest recente release van SWAN) niet tot betere resultaten leidt.
- De bekomen statistische parameters (en dus de overeenkomst tussen de modelresultaten en de metingen) voor de maand december 2015 zijn minder goed in vergelijking met de meeste andere maanden. Bovendien zijn ze dicht bij de kust nog minder goed dan verder van de kust weg. December 2015 was echter een vrij kalme periode (er werd ook geen storm geselecteerd voor die maand) met vooral golven uit westelijke en zuid-westelijke richting (bijna 74% van de tijd; zie rapport 214339_R08_20160530). Ook de golfrichting is minder goed gesimuleerd.

- In januari 2016 werden de hoogste golfhoogtes geregistreerd van de gehele Broersbank meetcampagne (december 2013 – maart 2016). De tot dan hoogste waarde (4.7m genoteerd in november 2015) werd nu overtroffen door een waarde van 5.2m op boeilocatie BRB5DB. Deze golven kwamen bovendien uit het noordwesten en ook de gemiddelde golfperiode is vrij groot (bijna 7s voor Tm02).
- De simulaties van deze storm (14-16 januari) tonen een goede overeenkomst voor de significante golfhoogte Hm0 en de gemiddelde periode Tm02 op de locaties dicht bij de kust (Figuur 4.7 en Figuur 4.8) met als gevolg heel goede waarde voor de kwaliteitsindicatoren bij storm (Tabel 5 en Tabel 6).
- De gekozen storm in februari 2016 was minder energetisch dan de storm in januari 2016. Maar ook hier zien we dat het kuststrookmodel de gemeten golfhoogtes en periodes op de boeien dicht bij de kust (BRB1GB and TRGGB1) goed reproduceert (Figuur 4.15 en Figuur 4.16) met goede waardes voor de kwaliteitsindicatoren als gevolg.
- De simulatie van de piekgolfrichting volgt redelijk goed de gemeten patronen (Figuur 3.3, Figuur 3.6, Figuur 3.9 en Figuur 3.12 in ANNEX 3. TIJDREEKSEN VAN DE VOLLEDIGE MAAND MODEL BELANGRIJKSTE GOLFPARAMETERS). Het is verder ook interessant om de piekgolfrichtingen verkregen door BRB2DB, wanneer noordelijke condities gelden voor enige tijd (zie Figuur 3.9 op 14-16 en 24-19 februari en Figuur 3.12 voor de periode 13-18 maart), te bekijken. De boei vertoont een oscillatie van de piekgolfrichting die wellicht het gevolg is van de verandering in refractie door getijdenwerking. Alhoewel de modelsimulaties (alle settings) ook oscillaties vertonen, slaagt geen van hen erin om deze oscillaties in piekgolfrichting goed te simuleren.

5.2. Aanbevelingen voor verder onderzoek

In de voorgaande rapporten werden reeds een aantal aanbevelingen geformuleerd en worden hier niet herhaald. De simulaties voor deze periode waren enigszins verassend in de zin dat kwaliteitsindicatoren voor de zware storm in januari (de hoogste golfhoogtes gemeten in deze Broersbank campagne), beter waren dan de voor de simulaties van de stormen in de voorgaande periodes. Het is op dit moment niet duidelijk of daar objectieve redenen voor zijn of dit eerder puur toeval is. Een nog diepere analyse van de simulatieresultaten voor verschillende stormen van de volledige meetcampagne, kan daartoe bijdragen.

Het aanleggen van de meetgegevens van de directionele golfboei of locatie BRB5DB als randvoorwaarde voor het kuststrookmodel (bij gebrek aan goede meetgegevens op locatie Westhinder) had weinig of geen impact op de statistische resultaten van de simulaties op de andere boeien dicht bij de kust. Op zich ligt dat in de lijn van de verwachtingen (boeien liggen niet zo ver uit elkaar, water diepte is niet veel verschillend), maar anderzijds verdient dit toch wat extra aandacht. Er wordt daarom aanbevolen om deze manier van werken over te doen voor een langere periode en voor een aantal stormen waarbij modelruns met zowel de gemeten golfspectra op Westhinder als de gemeten golfspectra op BRB5DB in detail met elkaar vergeleken worden.

6. REFERENTIELIJST

- Dabbi, E. P., Haigh, I. D., Lambkin, D., Hernon, J., Williams, J. J., and Nicholls, R. J. (2015). "Beyond significant wave height: A new approach for validating spectral wave models." *Coastal Engineering*, 100, 11-25.
- Mathys P., De Rouck J., Fernandez L., Monbaliu J., Van den Eynde D., Delgado R., Dujardin A.. Brussels, 2011. Belgian Ocean Energy Assessment (BOREAS). Final Report.: Belgian Science Policy – 157 p. (Research Programme Science for a Sustainable Development).
- Rapport 212176-R01- 20140716: *"Monitoring Broersbank boeidata – datarapport periode december 2013 – maart 2014"*. Laboratorium voor Hydraulica, KU Leuven, Oktober 2014.
- Rapport 212176-R02-20140625: *"Monitoring Broersbank boeidata – Ruwe datarapport periode december 2013- maart 2014"*. Laboratorium voor Hydraulica, KU Leuven, Oktober 2014.
- Rapport 212176-R03- 20141021: *"Monitoring Broersbank boeidata – datarapport periode April-Augustus 2014"*. Laboratorium voor Hydraulica, KU Leuven, Oktober 2014.
- Rapport 212176-R04-SAT_BRB_20141218: *"Monitoring Broersbank boeidata – datarapport periode Sept-Nov 2014"*. Laboratorium voor Hydraulica, KU Leuven, December 2014.
- Rapport 212176-R05-20141216: *"Monitoring Broersbank boeidata – Ruwe datarapport periode April 2014- Augustus 2014"*. Laboratorium voor Hydraulica, KU Leuven, December 2014.
- Rapport 212176-R06-20150228 *"Monitoring Broersbank - Resultaten Modelleren December 2013 - August 2014"*. Laboratorium voor Hydraulica, KU Leuven, Februari 2015.
- Rapport 212176-R06-20150515 *"Monitoring Broersbank - Resultaten Modelleren December 2013 - Februari 2015"*. Laboratorium voor Hydraulica, KU Leuven, Mei 2015.
- Rapport 212176-R07-SAT_BRB_20150331: *"Monitoring Broersbank boeidata – datarapport periode Dec 2014- Feb 2015"*. Laboratorium voor Hydraulica, KU Leuven, Maart 2015.
- Rapport 212176-R08-20150515_update20150228- *"Monitoring Broersbank- Samenvattend verslag (December 2013-februari 2015)"*. Laboratorium voor Hydraulica, KU Leuven, Mei 2015.
- Rapport 214339-R01-SAT_BRB_20150707- *"Monitoring Broersbank boeidata – datarapport periode Maart-Mei 2015"*. Laboratorium voor Hydraulica, KU Leuven, Juli 2015.
- Rapport 214339_R02_20151013- *"Monitoring Broersbank boeidata – Satelliet datarapport periode Jun2015- Aug2015"*. Laboratorium voor Hydraulica, KU Leuven, Oktober 2015.
- Rapport 214339_R03_201512109- *"Monitoring Broersbank boeidata – Ruwe datarapport periode Mar2015- Mei2015"*. Laboratorium voor Hydraulica, KU Leuven, December 2015.
- Rapport 214339_R04_20160718- *"Monitoring Broersbank boeidata – Resultaten Modelleren (periode Mar 2015 – Mei 2015)"*. Laboratorium voor Hydraulica, KU Leuven, Juli 2016.
- Rapport 214339_R05_20160209- *"Monitoring Broersbank boeidata – Satelliet datarapport periode Sep2015- Nov2015"*. . Laboratorium voor Hydraulica, KU Leuven, Februari 2016.

Rapport 214339_R06_20160606- *"Monitoring Broersbank boeidata – Satelliet datarapport periode Dec2015-Apr2016"*. Laboratorium voor Hydraulica, KU Leuven, Juni 2016.

Rapport 214339_R07_20160530- *"Monitoring Broersbank boeidata – Ruwe datarapport periode Jun2015-Aug2015"*. Laboratorium voor Hydraulica, KU Leuven, Mei 2016.

Rapport 214339_R08_20160530- *"Monitoring Broersbank boeidata – Ruwe datarapport periode Sep2015-Dec2015"*. Laboratorium voor Hydraulica, KU Leuven, Mei 2016.

Rapport 214339_R09_20160705- *"Monitoring Broersbank boeidata – Ruwe datarapport periode Jan2015-Apr2016"*. Laboratorium voor Hydraulica, KU Leuven, Juli 2016.

Rapport 214339_R10_20160831- *"Monitoring Broersbank boeidata – Resultaten Modelleren (periode Jun 2015 – Aug 2015)"*. Laboratorium voor Hydraulica, KU Leuven, Augustus 2016.

Rapport 214341_R03_20160829- *"Concept kustrookmodel: TELEMAC-2D-kust en TOMAWAC-kust"*. Laboratorium voor Hydraulica, KU Leuven, August 2016.

ANNEX 1. SPECTRAL SCORE INDICATOR (S-score)

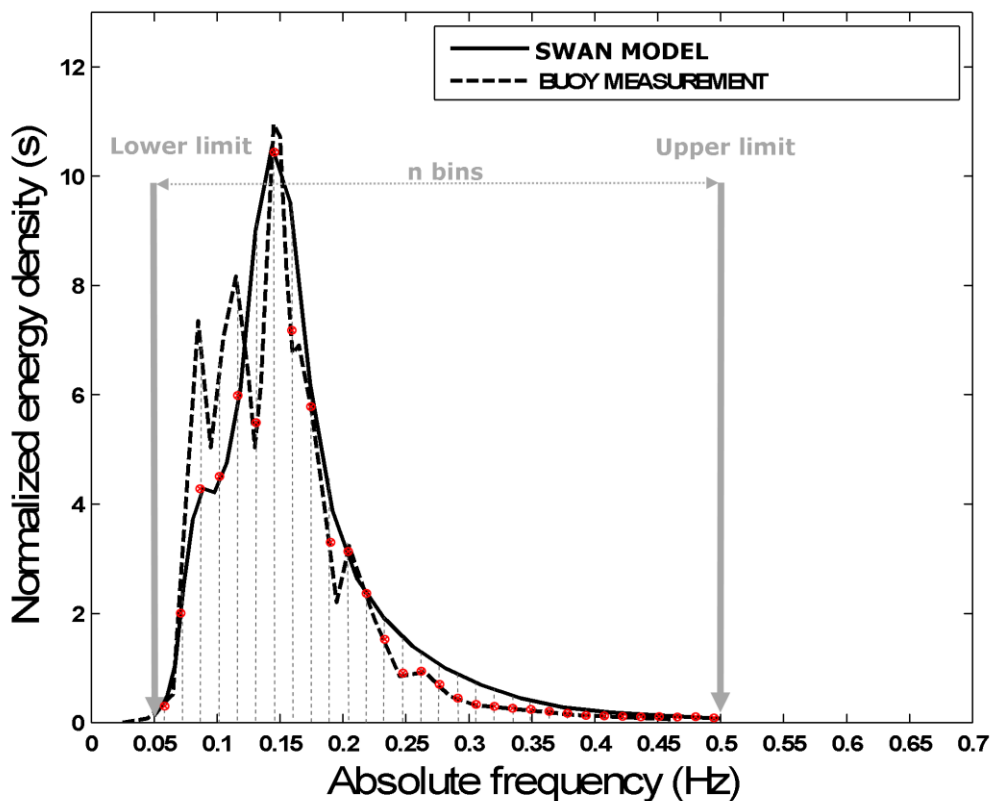
S-score implementatie.

De indicator ‘Spectrale Score (S-score)’ is een nieuwe kwaliteitsindicator ontwikkeld met het oog op een beter begrip van het gedrag van het model bij het reproduceren van de golfspectra. Het is erop gericht te meten hoe goed het model de reële energieverdeling simuleert en is hoofdzakelijk een vergelijking van de twee (gemodelleerde en gemeten) 1D golfspectra. De S-score wordt als volgt berekend.

- Definieer een standaard frequentievector om de vergelijking te maken. In dit geval werden de 1D frequentiespectra verkregen uit SWAN in het gebied 0.050-0.5Hz, verdeeld in 25 intervallen, als standaard gekozen.
- Interpoleer het geobserveerde spectrum in diezelfde ‘n’ frequentie-intervallen. Merk op dat door deze interpolatie de energie niet perfect gerepliceerd wordt en er zo energie verloren gaat. Dit is beperkt en zal dus ook maar beperkt invloed hebben op het resultaat. Desalniettemin kan er in deze stap nog een aanpassing gedaan worden met het oog op energiebehoud.
- Normaliseer zowel het model als het gemeten spectrum (oppervlakte onder het genormaliseerde spectrum is gelijk aan 1). Plot beide genormaliseerde spectra.
- Bereken het gebied onder de laagste energie van beide spectra voor elk frequentie-interval. Dit geeft de S-score voor elke tijdstap.

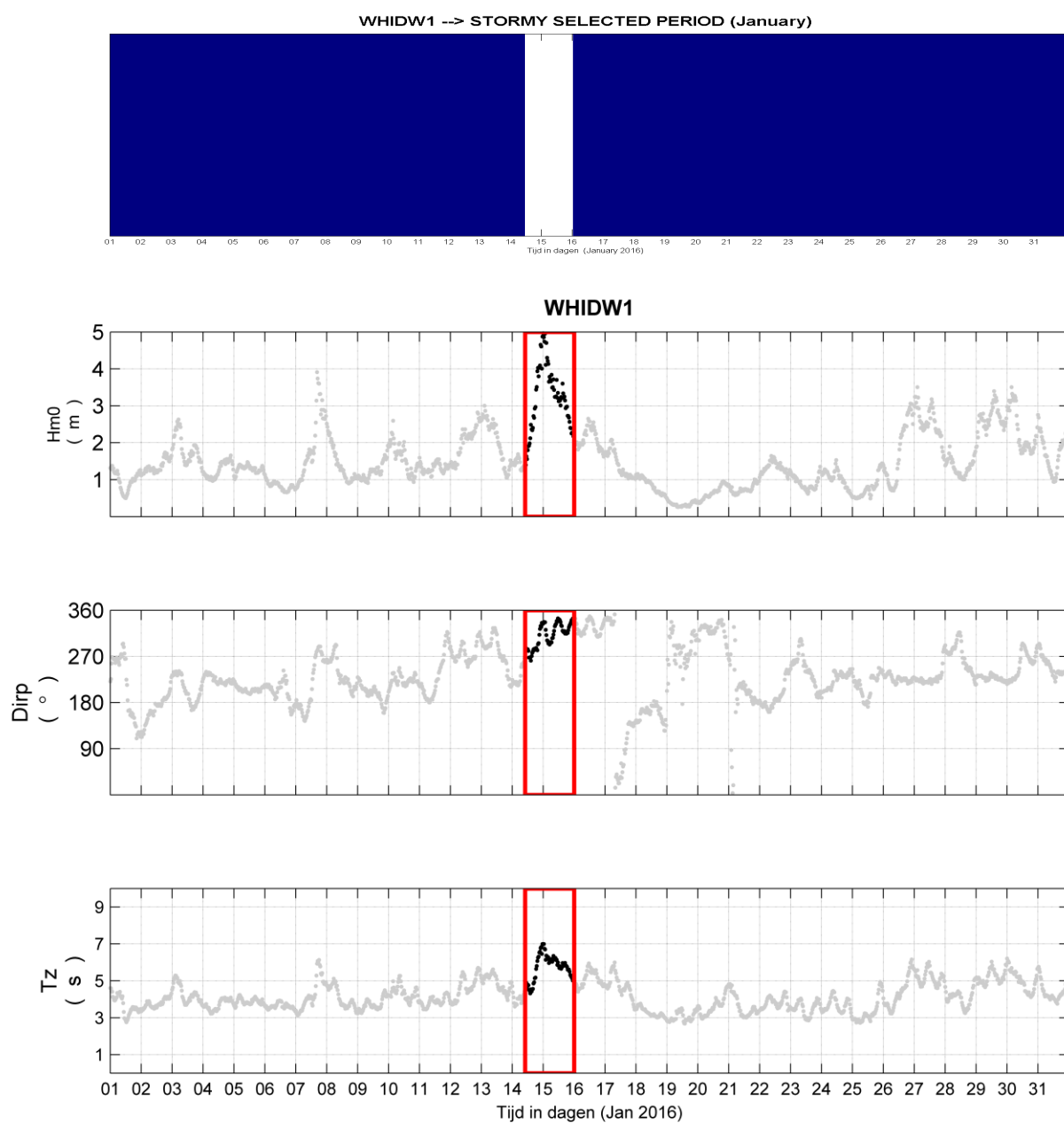
$$S_{score} = \sum_{1}^n \min(S_{MODEL}^{normalized}, S_{OBSERVATION}^{normalized}) \Delta f_n$$

Δf_n is de breedte van het frequentie-interval voor de n-de frequentie in het energiespectrum.



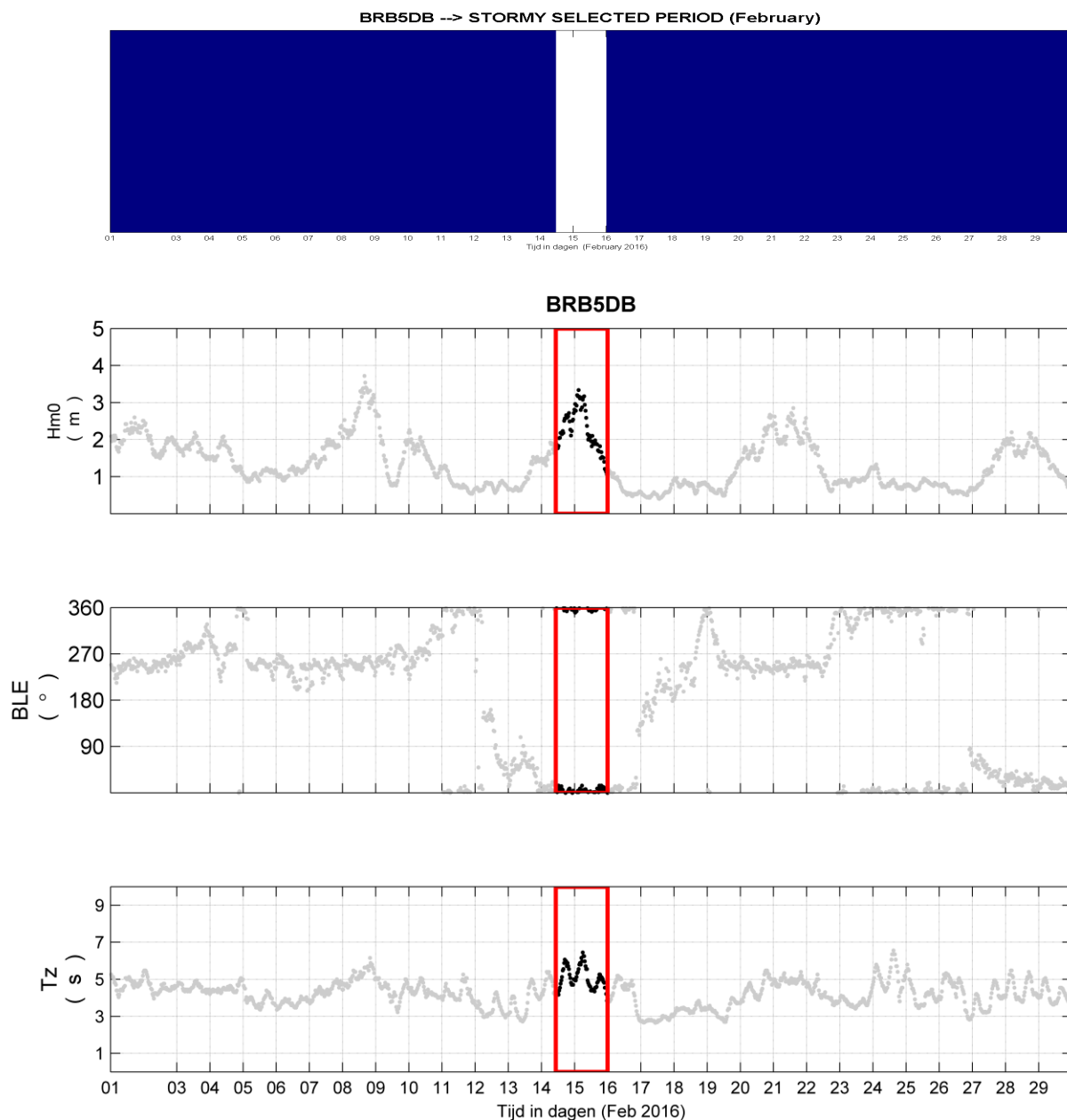
Figuur 1.1. Voorbeeld ter illustratie van de methodologie om de S-score te berekenen.

ANNEX 2. GESELECTEERDE STORM CONDITIES (periode december 2015-maart 2016)



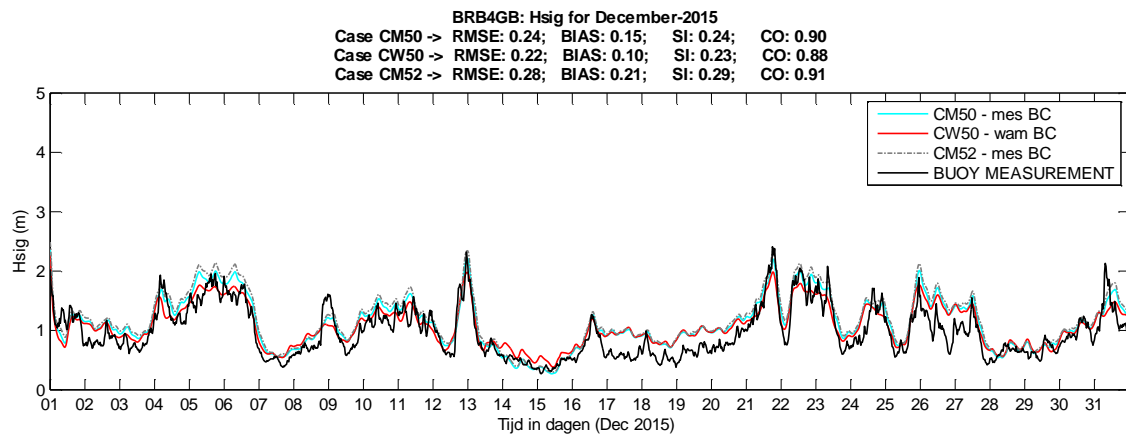
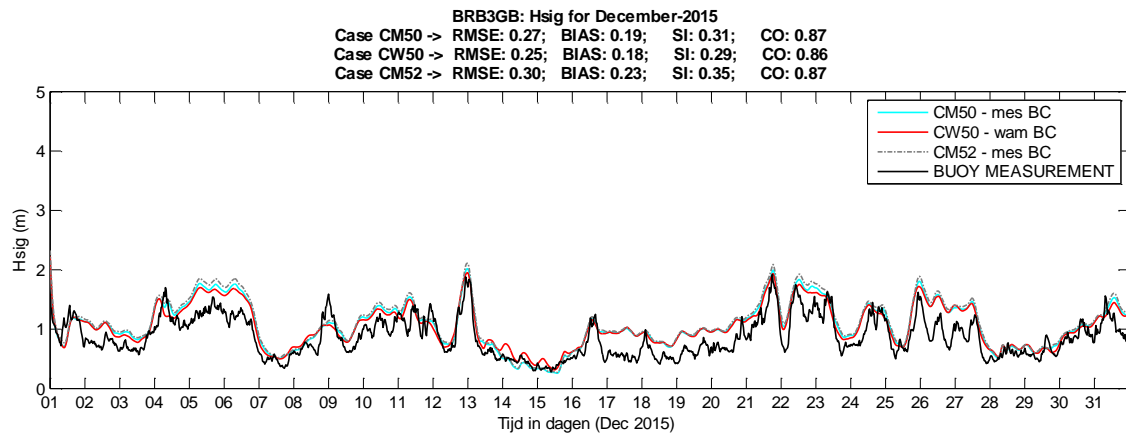
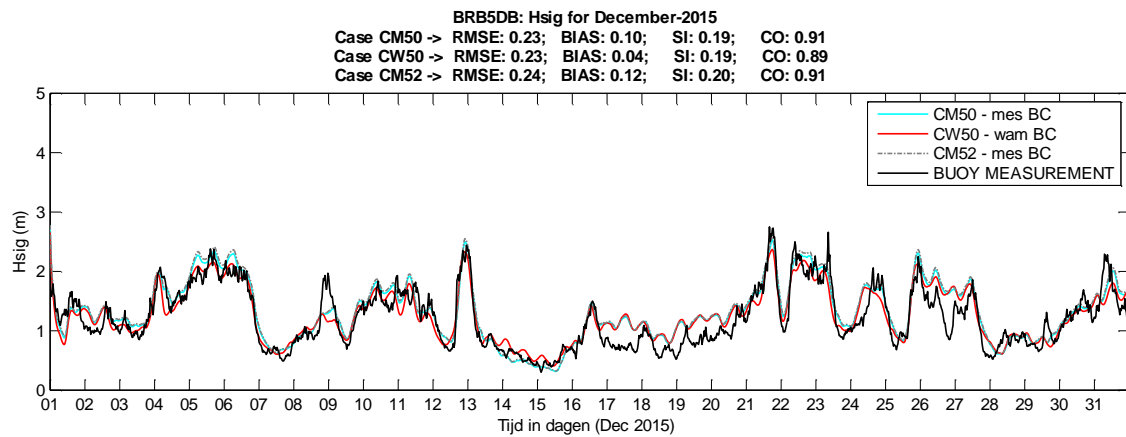
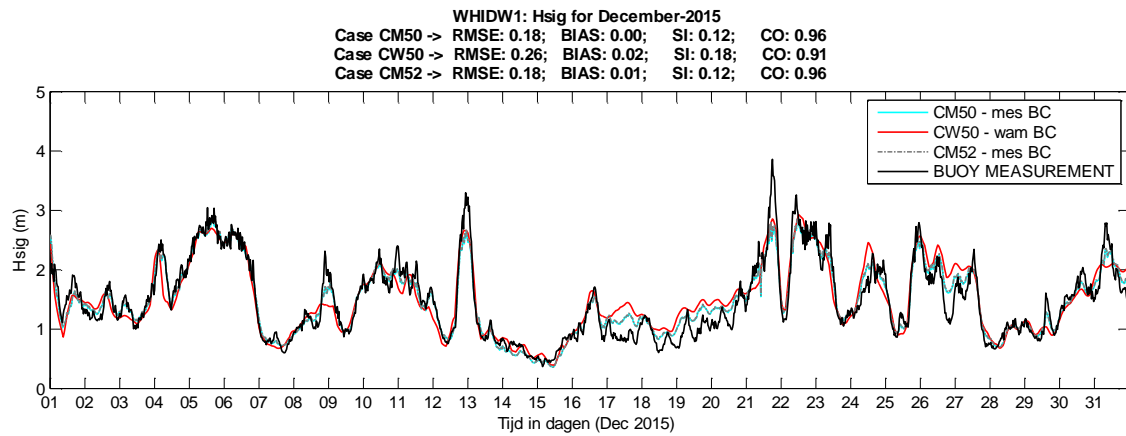
Figuur 2.1. Geselecteerde stormcondities in januari 2016 (WHIDW1 locatie).

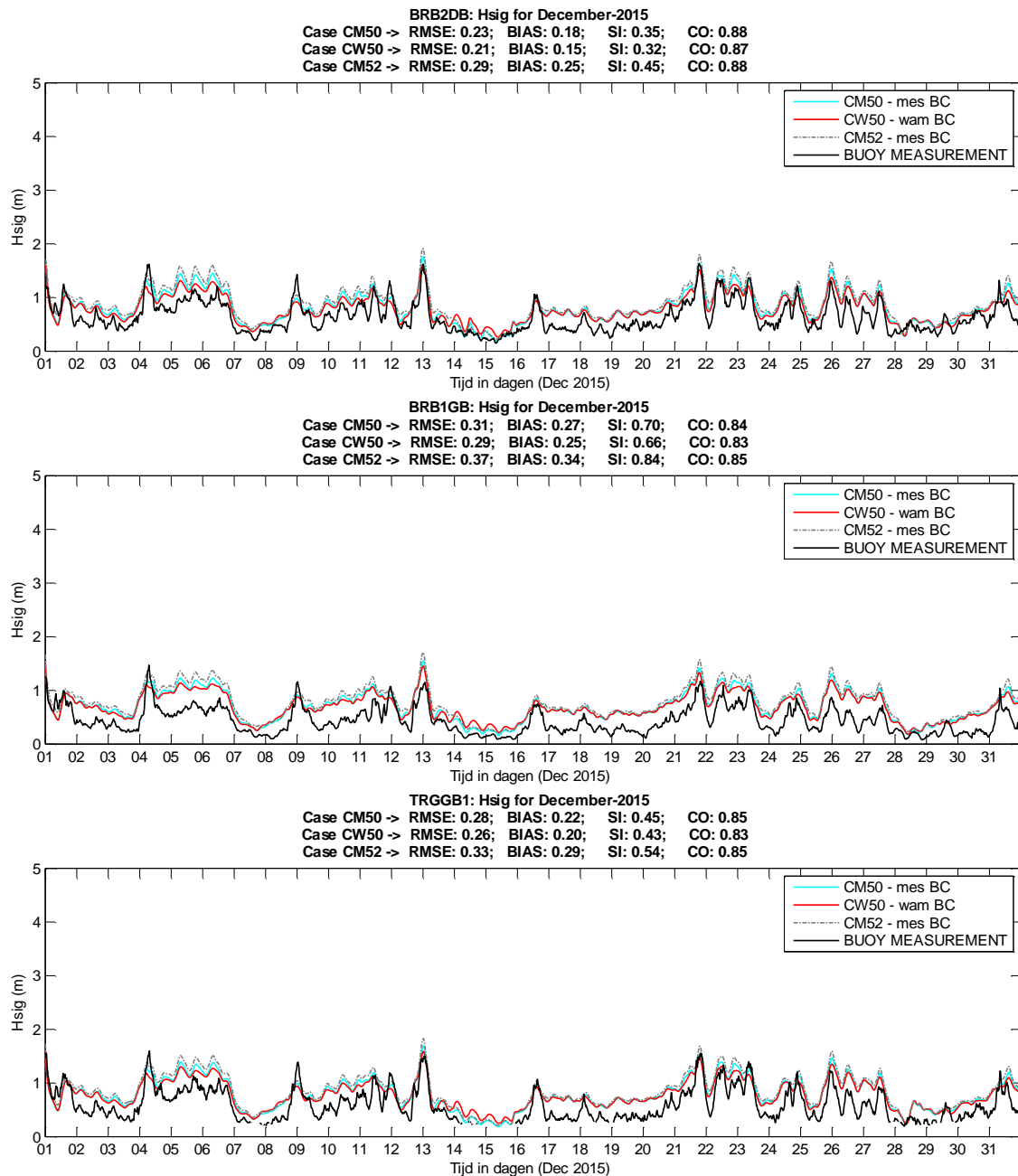
De episode 14-16 februari zal meegenomen worden voor deze analyse bij de modelberekeningen. Globaal gezien kwamen de golven vooral uit westzuidwestelijke ($\approx 28\%$ van de tijd) en noordelijke ($\approx 25\%$ van de tijd) richting. De hoogste periodes werden genoteerd bij de hoogste golfhoogtes uit het noorden (dus op 15 februari).



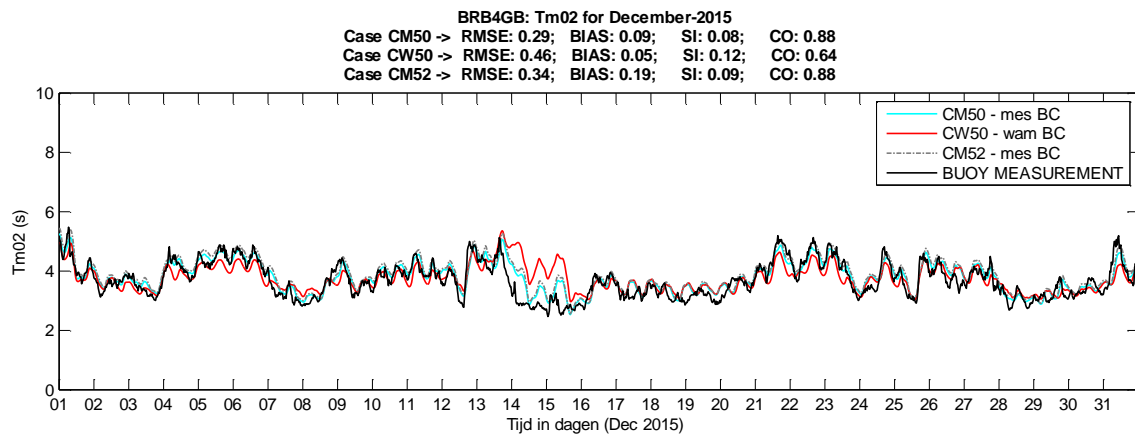
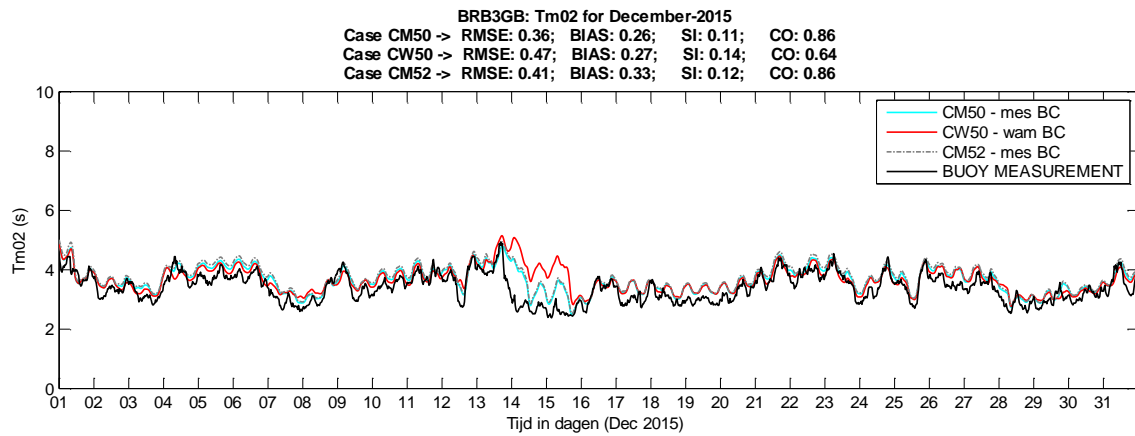
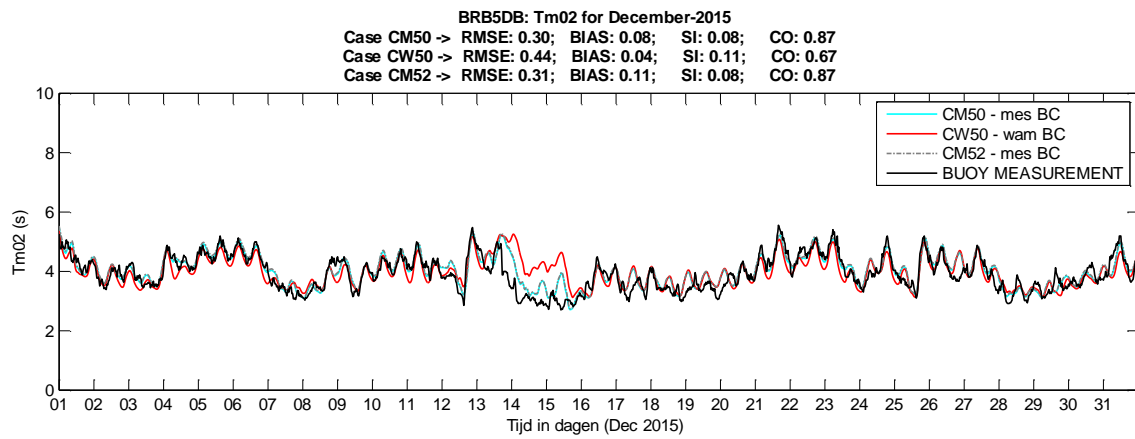
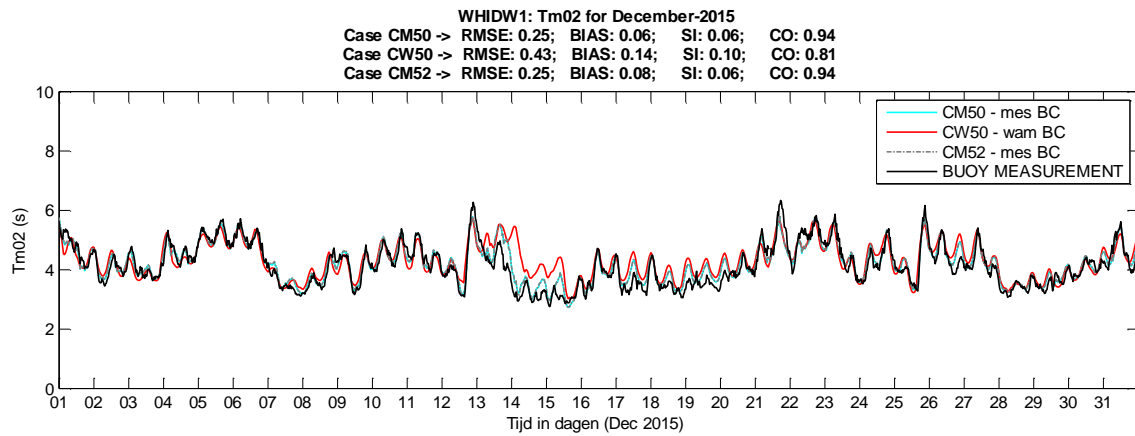
Figuur 2.2. Geselecteerde stormcondities in februari 2016 (BRB5DB locatie).

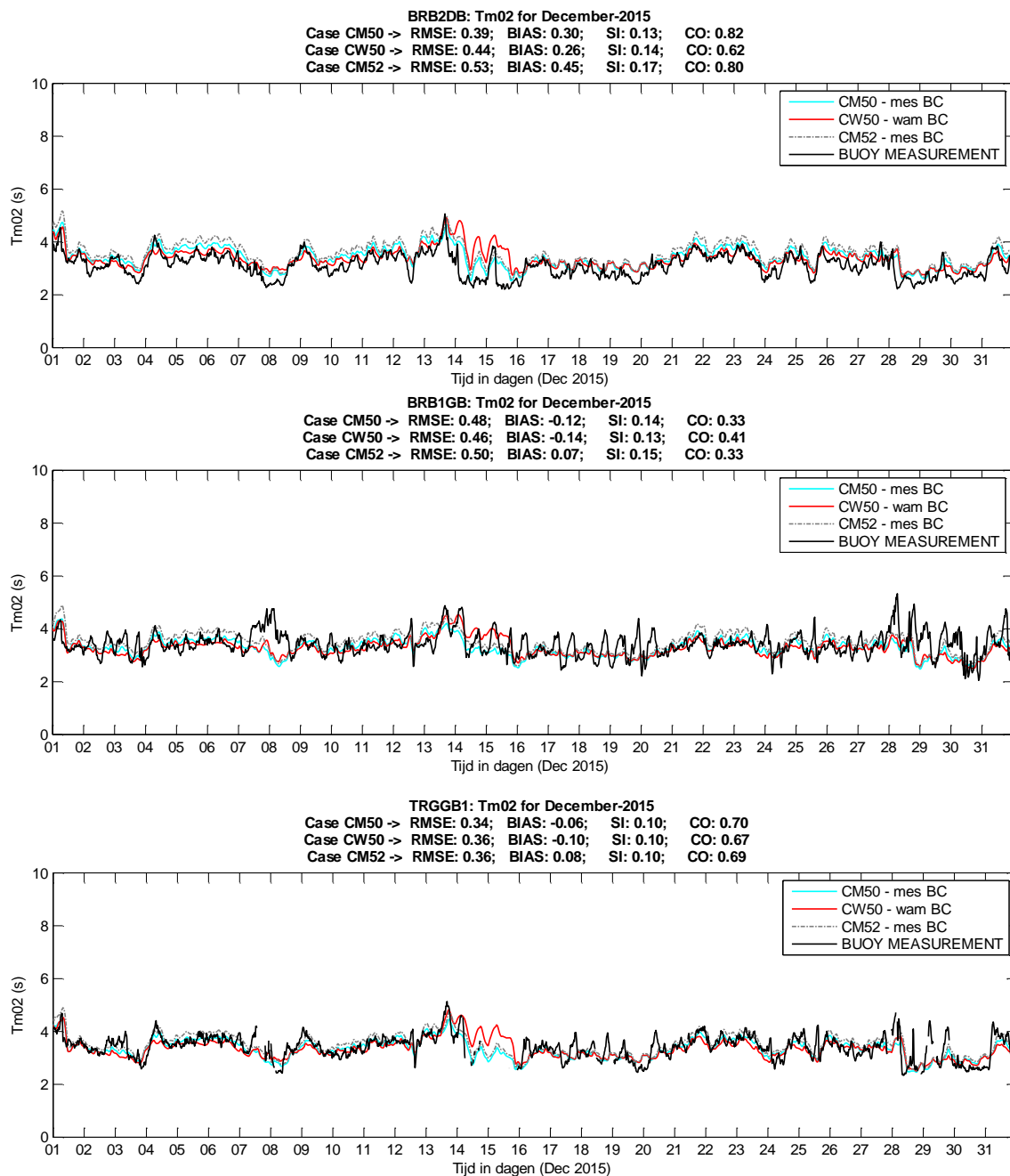
ANNEX 3. TIJDREEKSEN VAN DE VOLLEDIGE MAAND MODEL BELANGRIJKSTE GOLFPARAMETERS



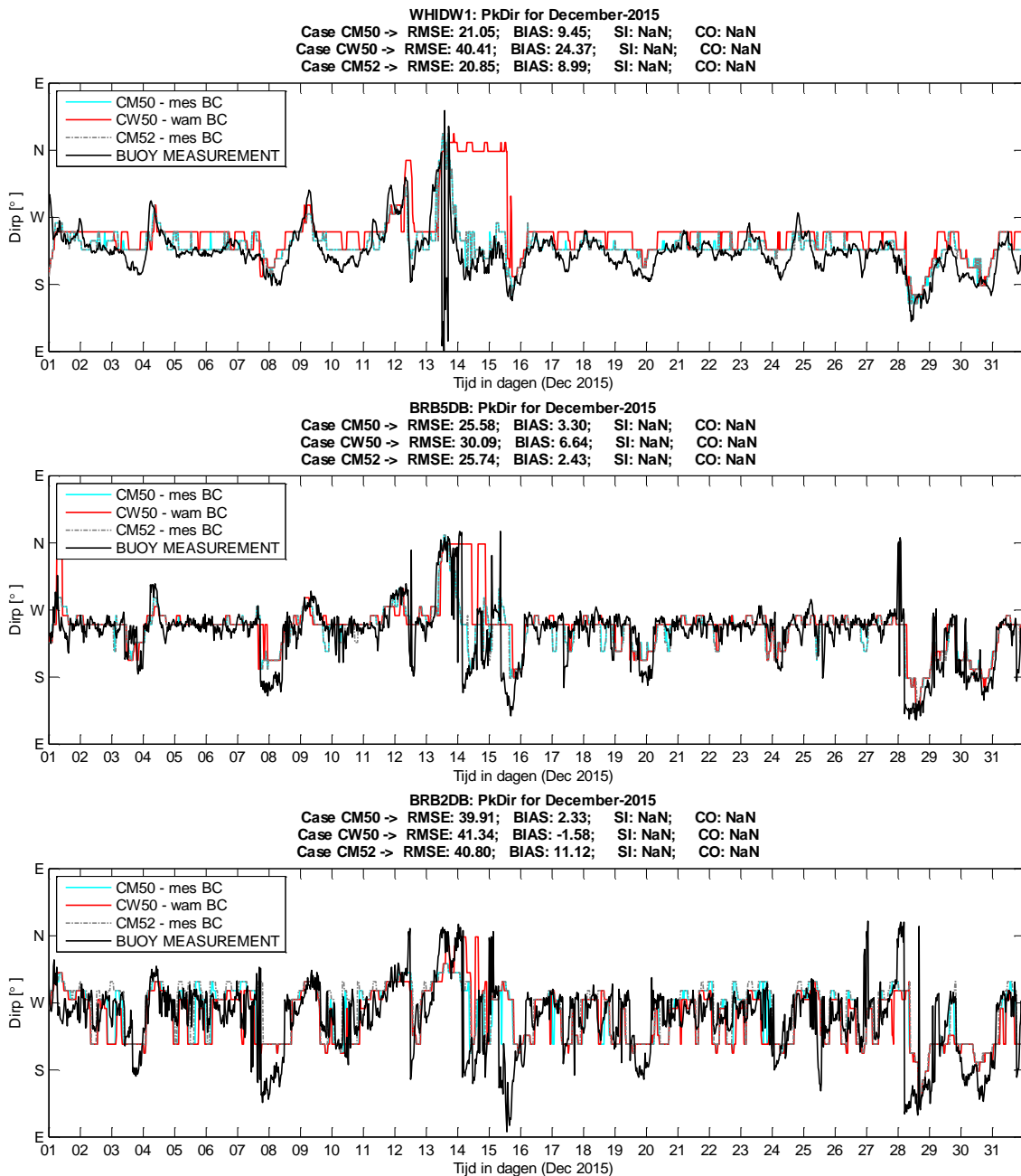


Figuur 3.1. (ook figuren op vorige pagina) Modelresultaat Hm0 simulatie december 2015 voor model settings CM50, CW50 en CM52 voor de boeien op locaties WHIDW1, BRB5DB, BRB3GB, BRB4GB, BRB2DB, BRB1GB en TRGGB1.

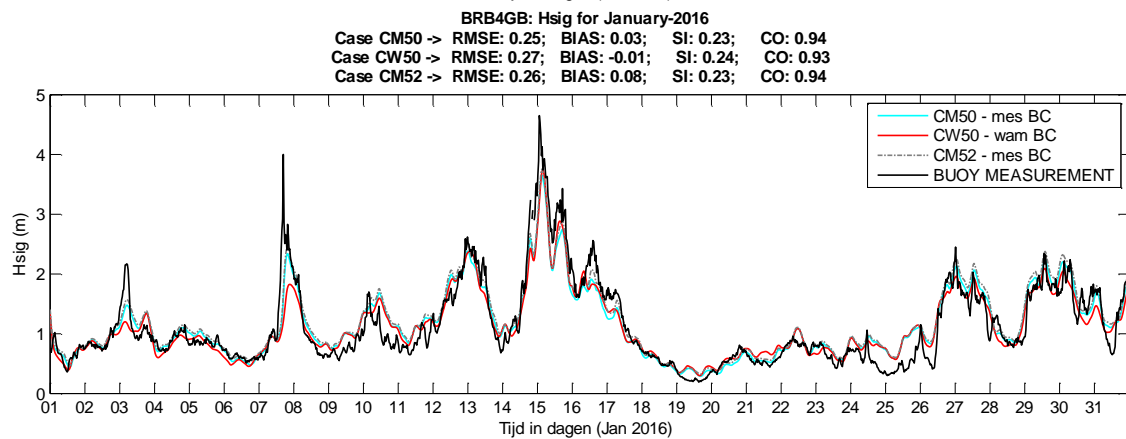
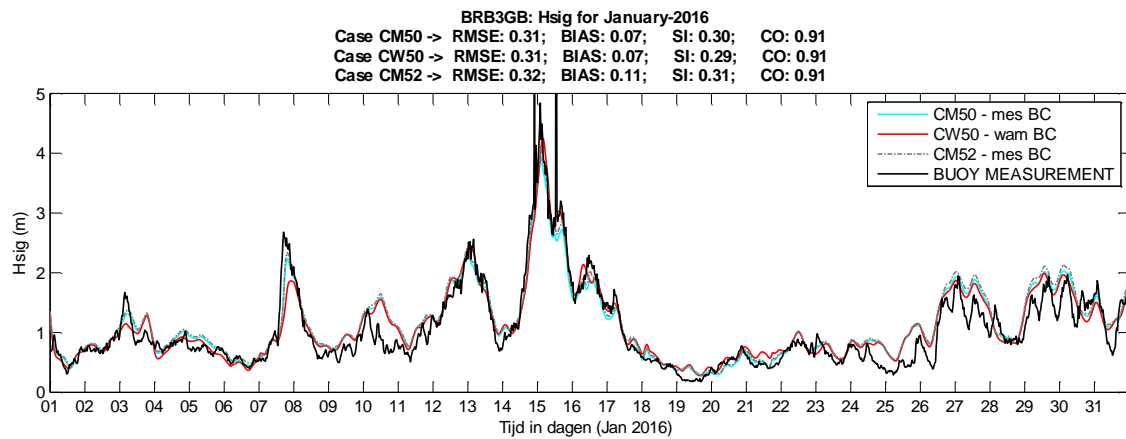
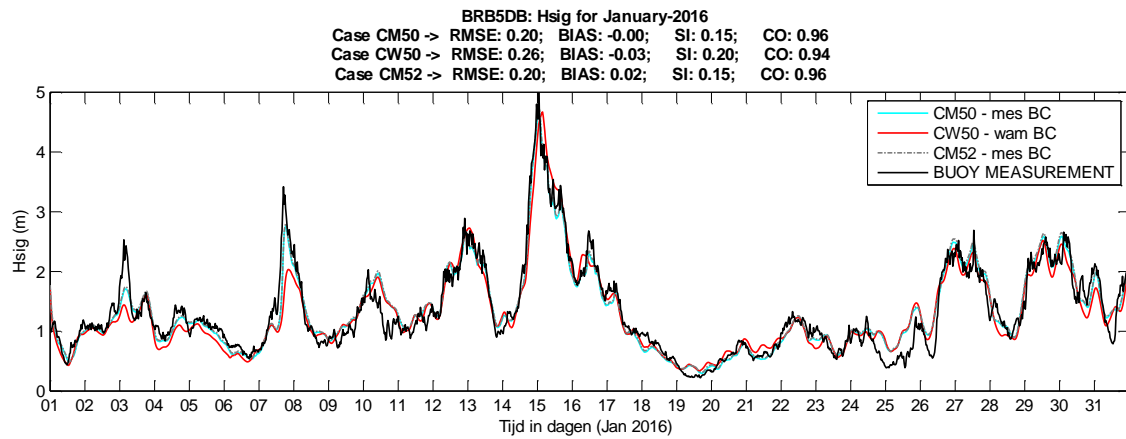
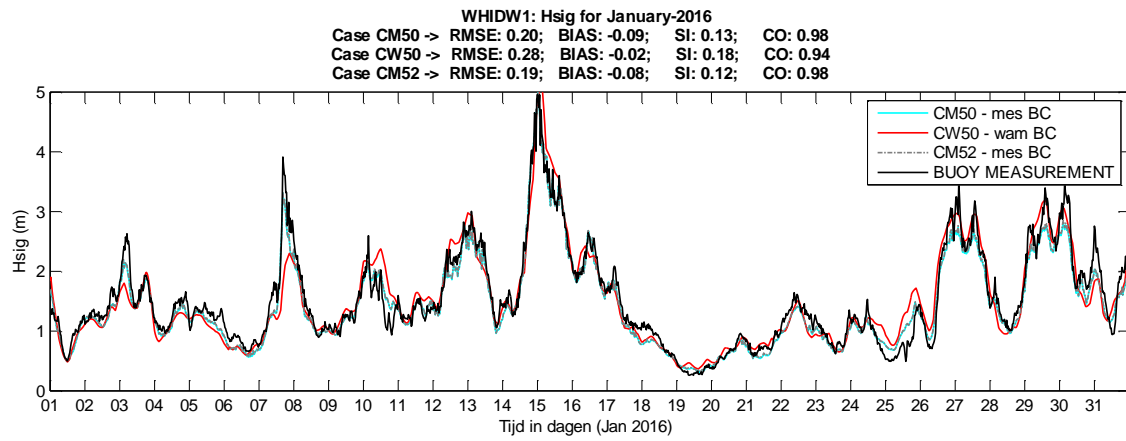


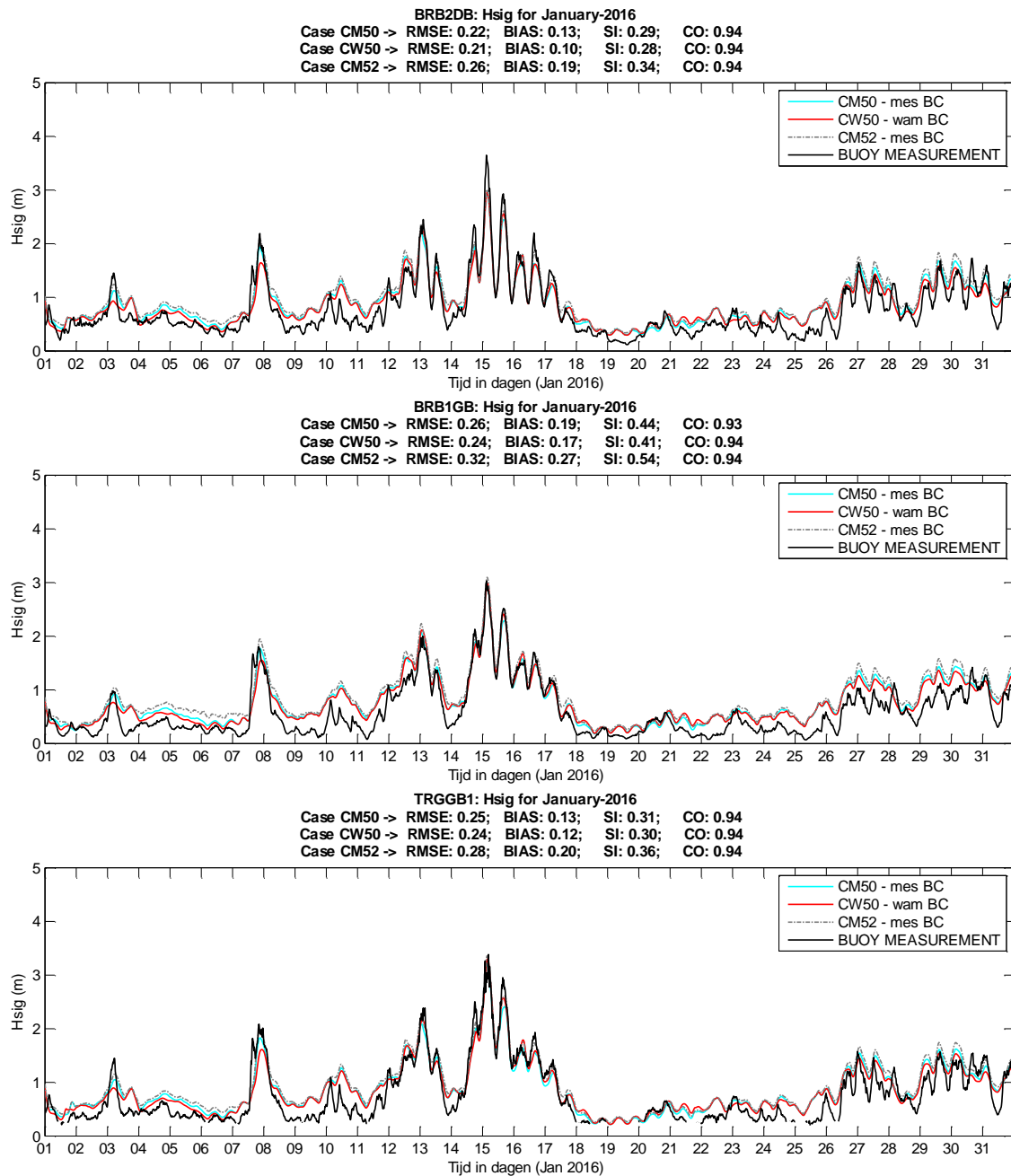


Figuur 3.2. (ook figuren op vorige pagina) Modelresultaat Tm02 simulatie december 2015 voor model settings CM50, CW50 en CM52 voor de boeien op locaties WHIDW1, BRB5DB, BRB3GB, BRB4GB, BRB2DB, BRB1GB en TRGGB1.

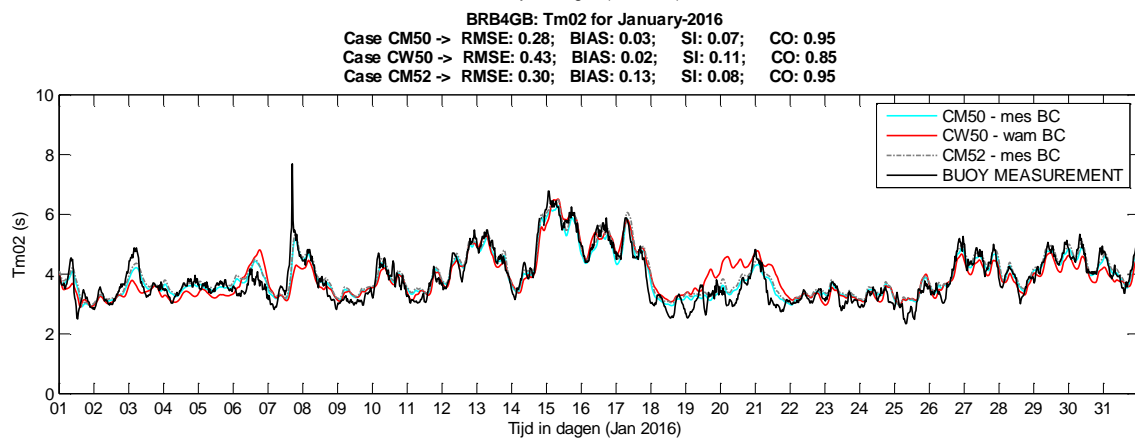
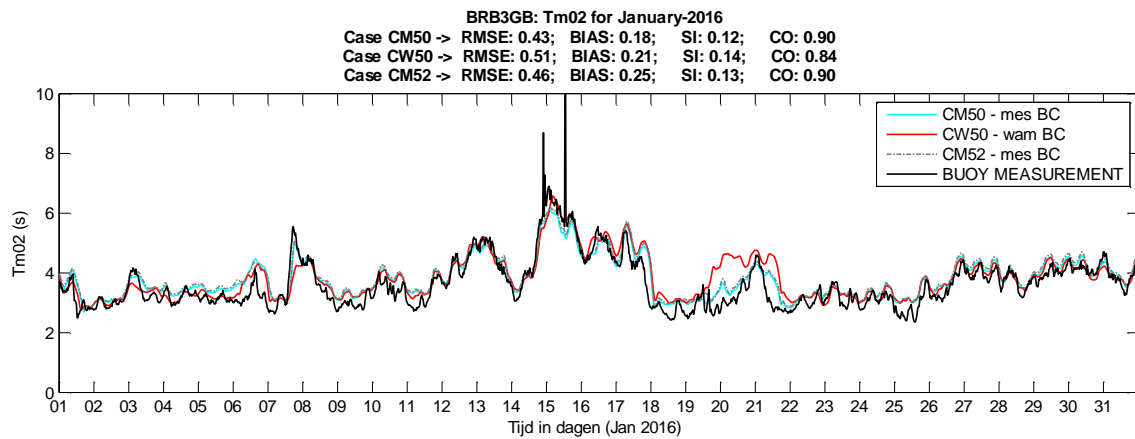
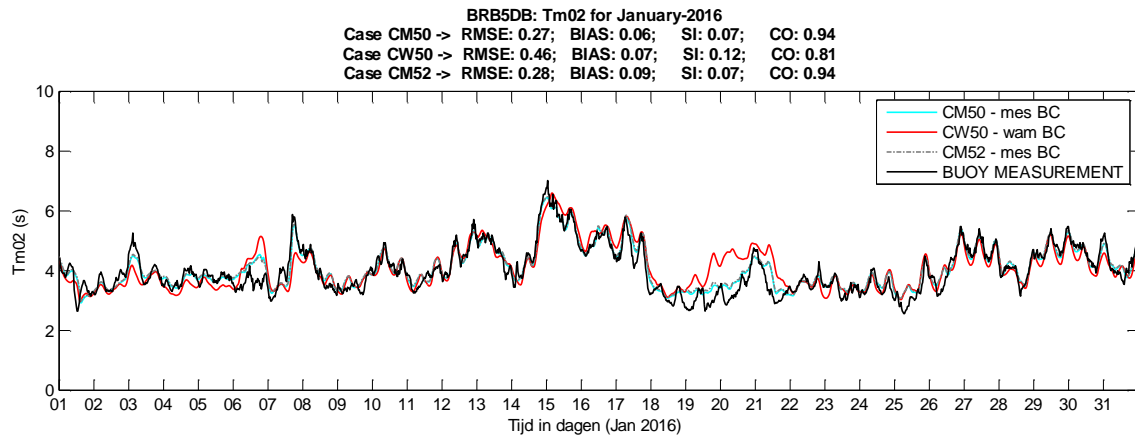
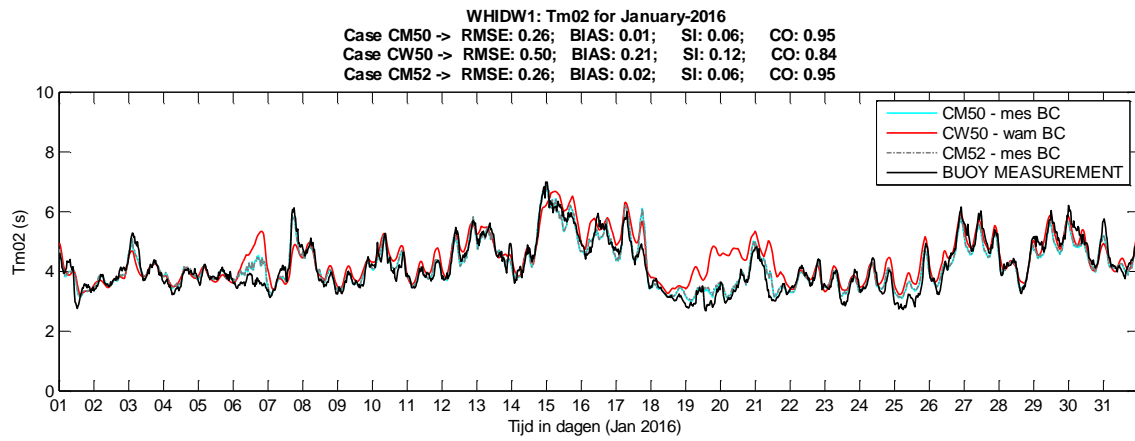


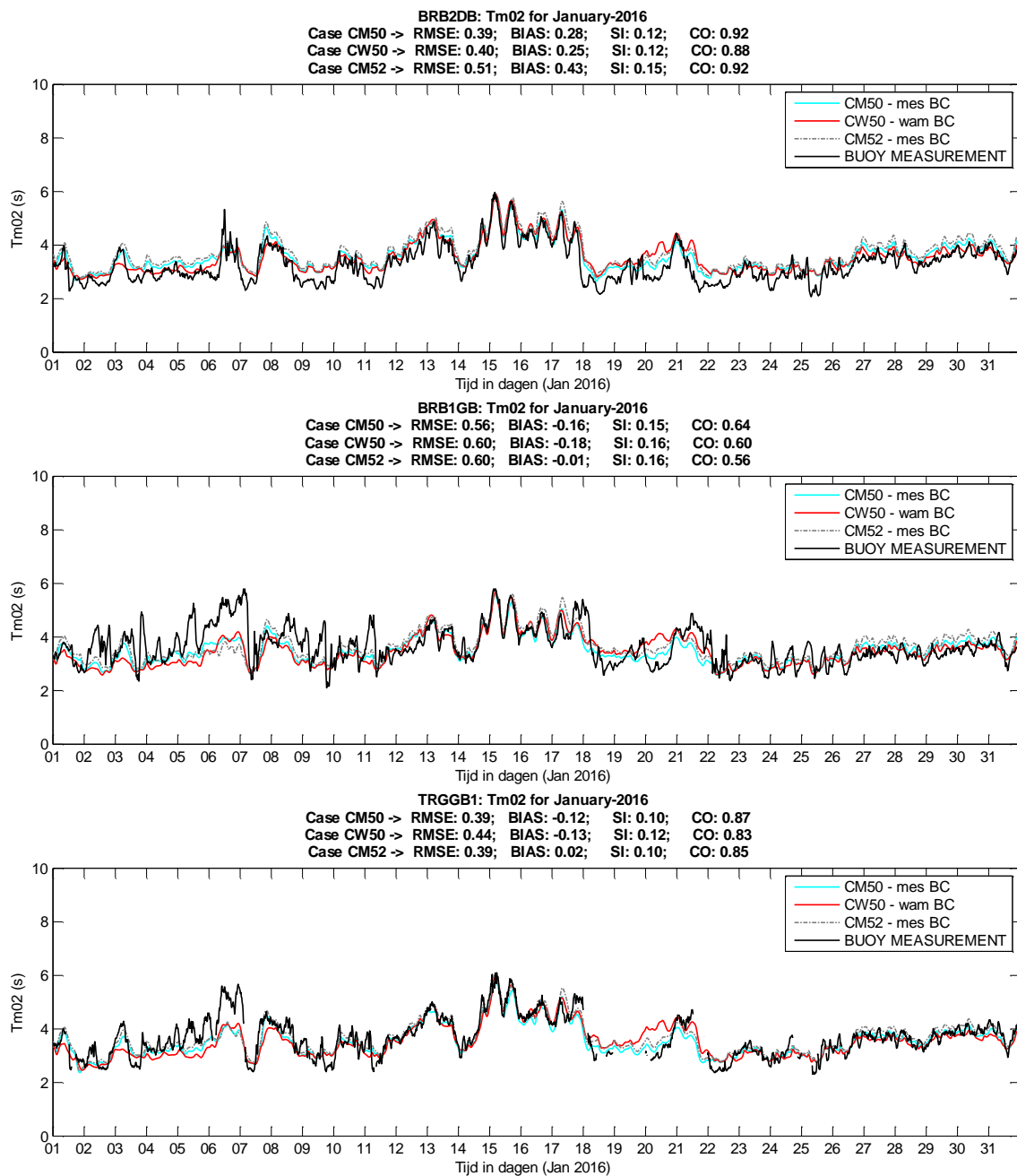
Figuur 3.3. Modelresultaat piekgolfrichting simulatie december 2015 voor model settings CM50, CW50 en CM52 voor de boeien op locaties WHIDW1, BRB5DB en BRB2DB.



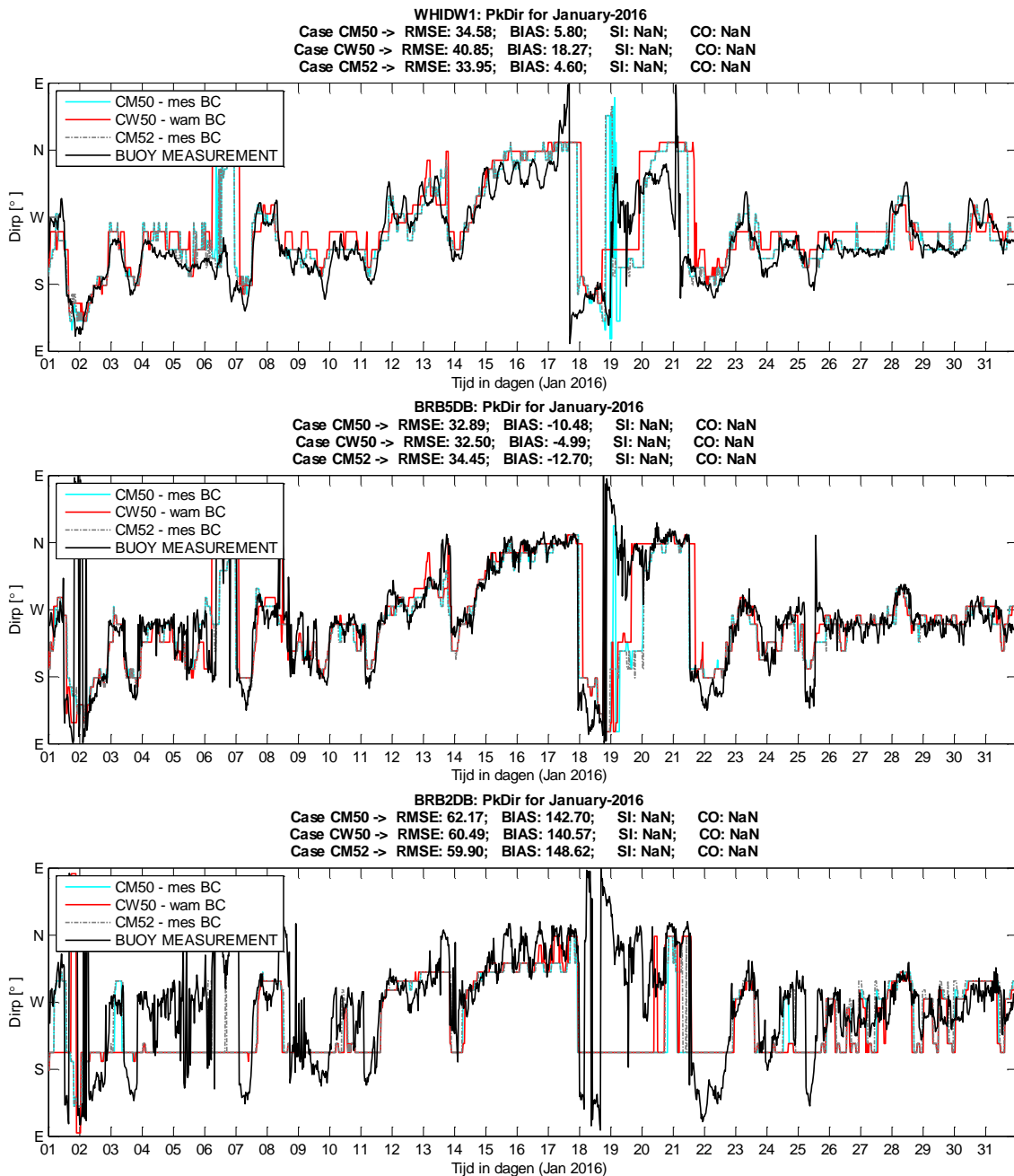


Figuur 3.4. (ook figuren op vorige pagina) Modelresultaat Hm0 simulatie januari 2016 voor model settings CM50, CW50 en CM52 voor de boeien op locaties WHIDW1, BRB5DB, BRB3GB, BRB4GB, BRB2DB, BRB1GB en TRGB1.

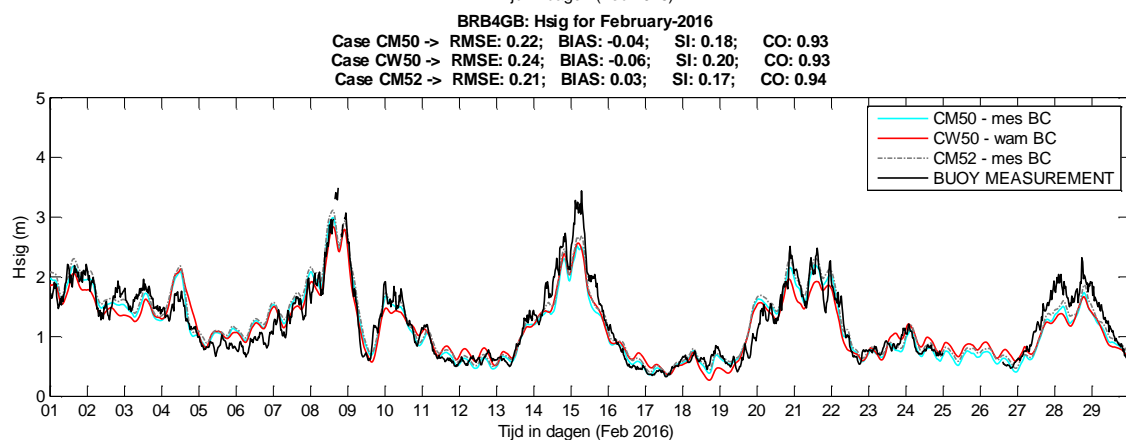
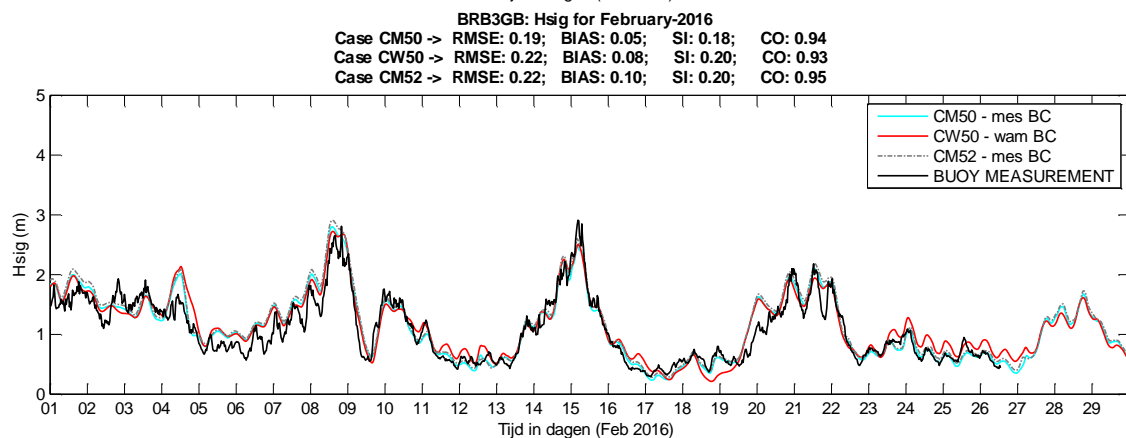
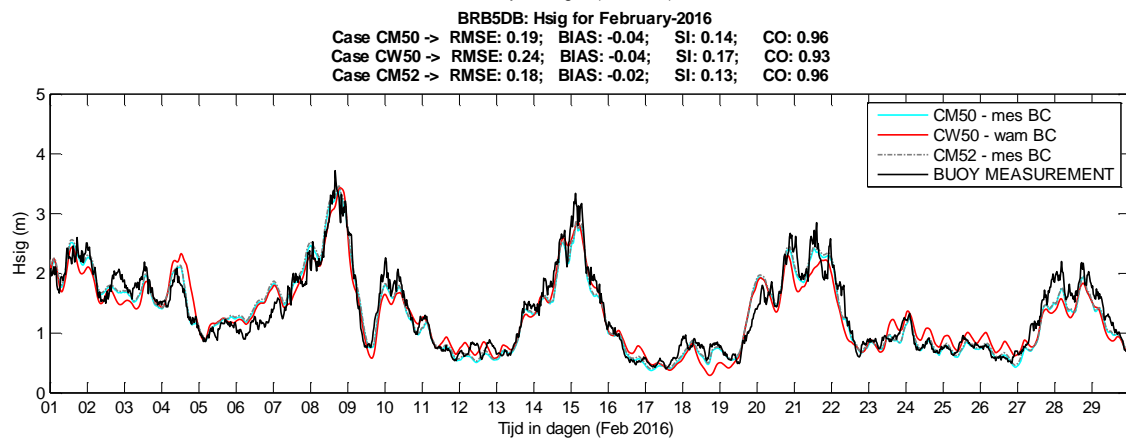
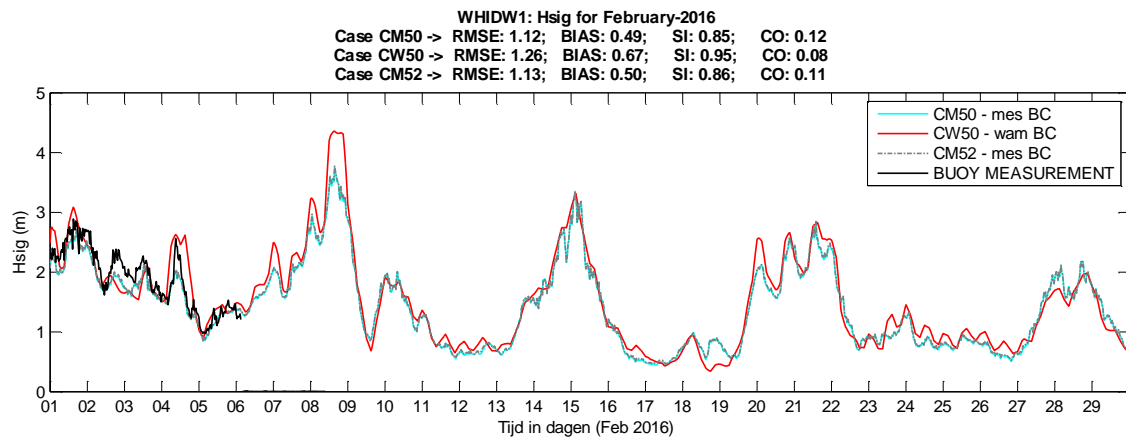


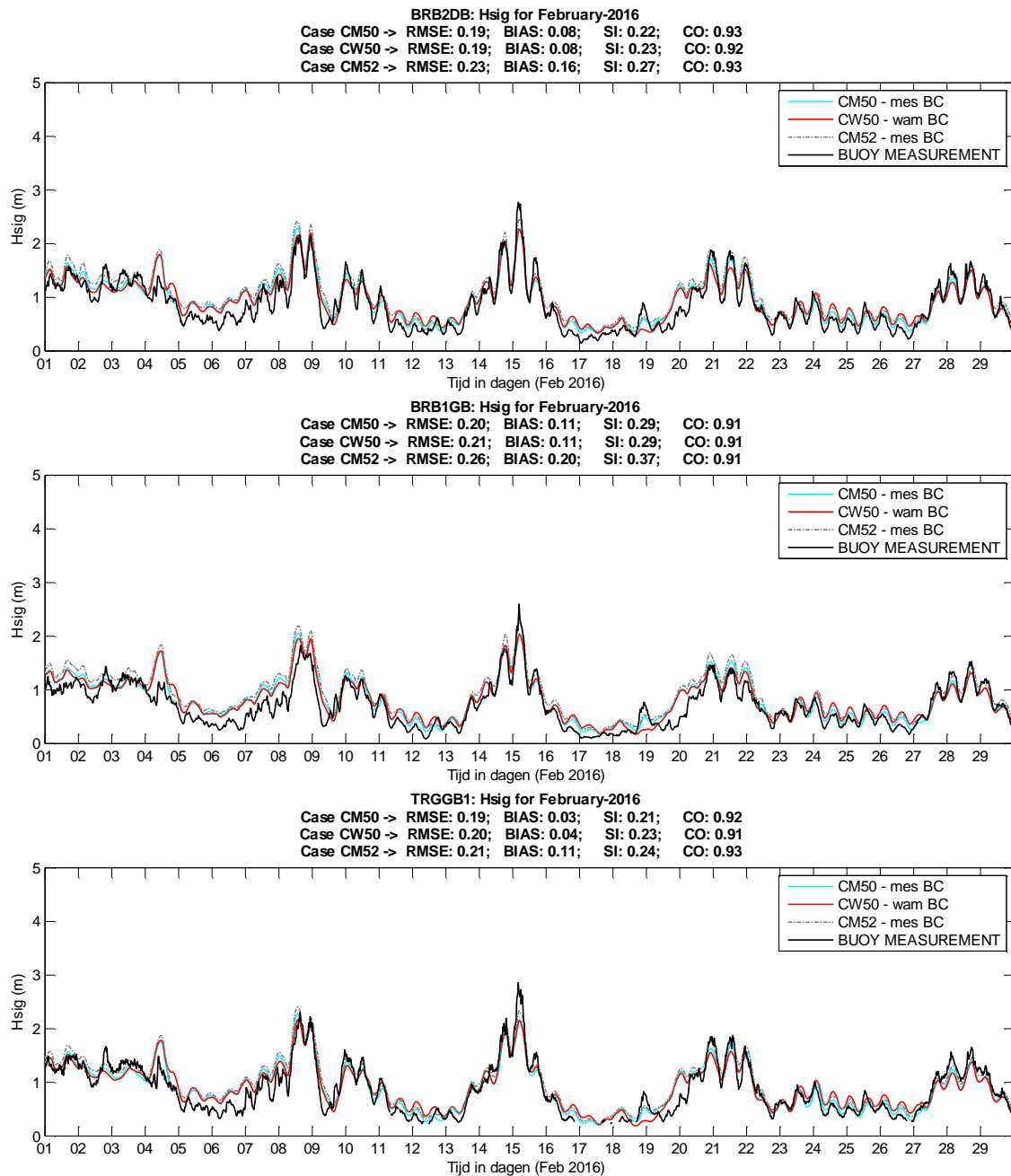


Figuur 3.5. (ook figuren op vorige pagina) Modelresultaat Tm02 simulatie januari 2016 voor model settings CM50, CW50 en CM52 voor de boeien op locaties WHIDW1, BRB5DB, BRB3GB, BRB4GB, BRB2DB, BRB1GB en TRGGB1.



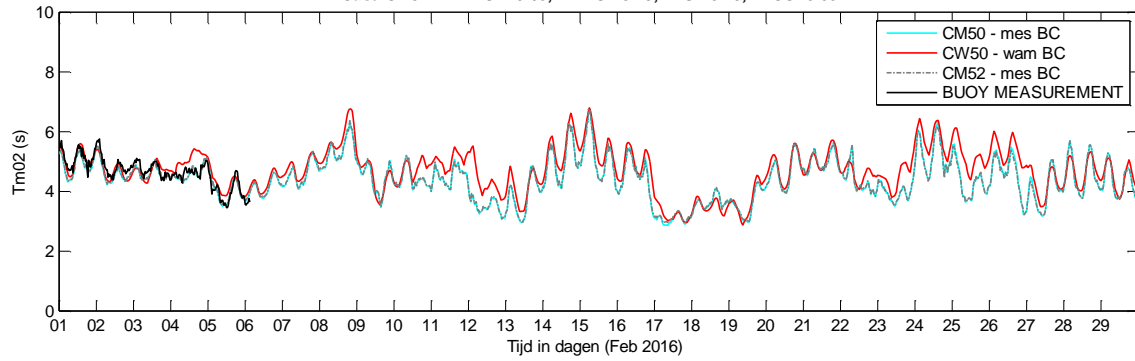
Figuur 3.6. Modelresultaat piekgolfrichting simulatie januari 2016 voor model settings CM50, CW50 en CM52 voor de boeien op locaties WHIDW1, BRB5DB en BRB2DB.



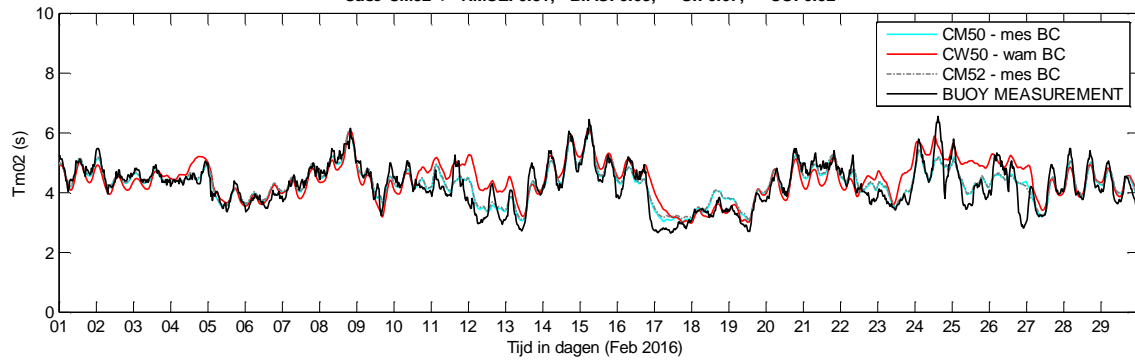


Figuur 3.7. (ook figuren op vorige pagina) Modelresultaat Hm0 simulatie februari 2016 voor model settings CM50, CW50 en CM52 voor de boeien op locaties WHIDW1, BRB5DB, BRB3GB, BRB4GB, BRB2DB, BRB1GB en TRGGB1.

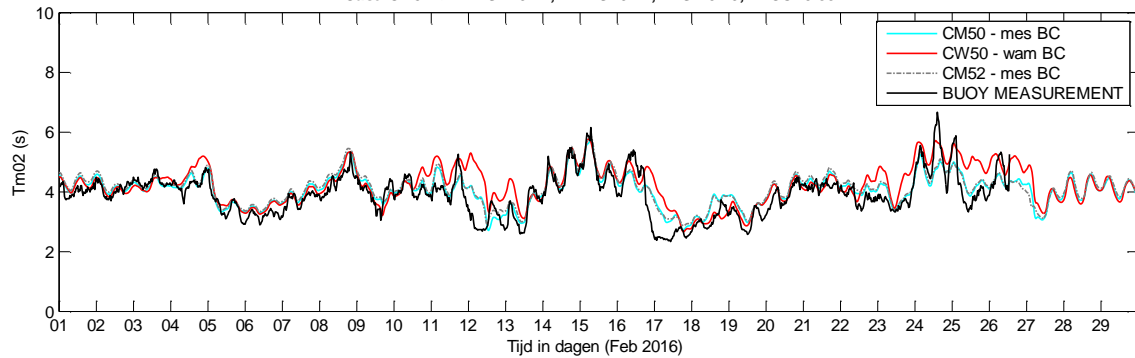
WHIDW1: Tm02 for February-2016
Case CM50 -> RMSE: 5.69; BIAS: -3.21; SI: 0.74; CO: 0.08
Case CW50 -> RMSE: 5.59; BIAS: -3.01; SI: 0.72; CO: 0.04
Case CM52 -> RMSE: 5.68; BIAS: -3.19; SI: 0.73; CO: 0.08



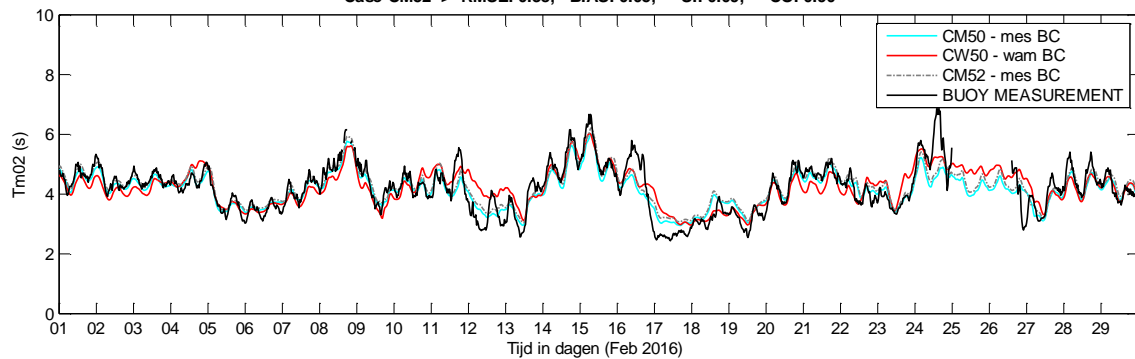
BRB5DB: Tm02 for February-2016
Case CM50 -> RMSE: 0.30; BIAS: 0.04; SI: 0.07; CO: 0.92
Case CW50 -> RMSE: 0.51; BIAS: 0.17; SI: 0.12; CO: 0.76
Case CM52 -> RMSE: 0.31; BIAS: 0.08; SI: 0.07; CO: 0.92

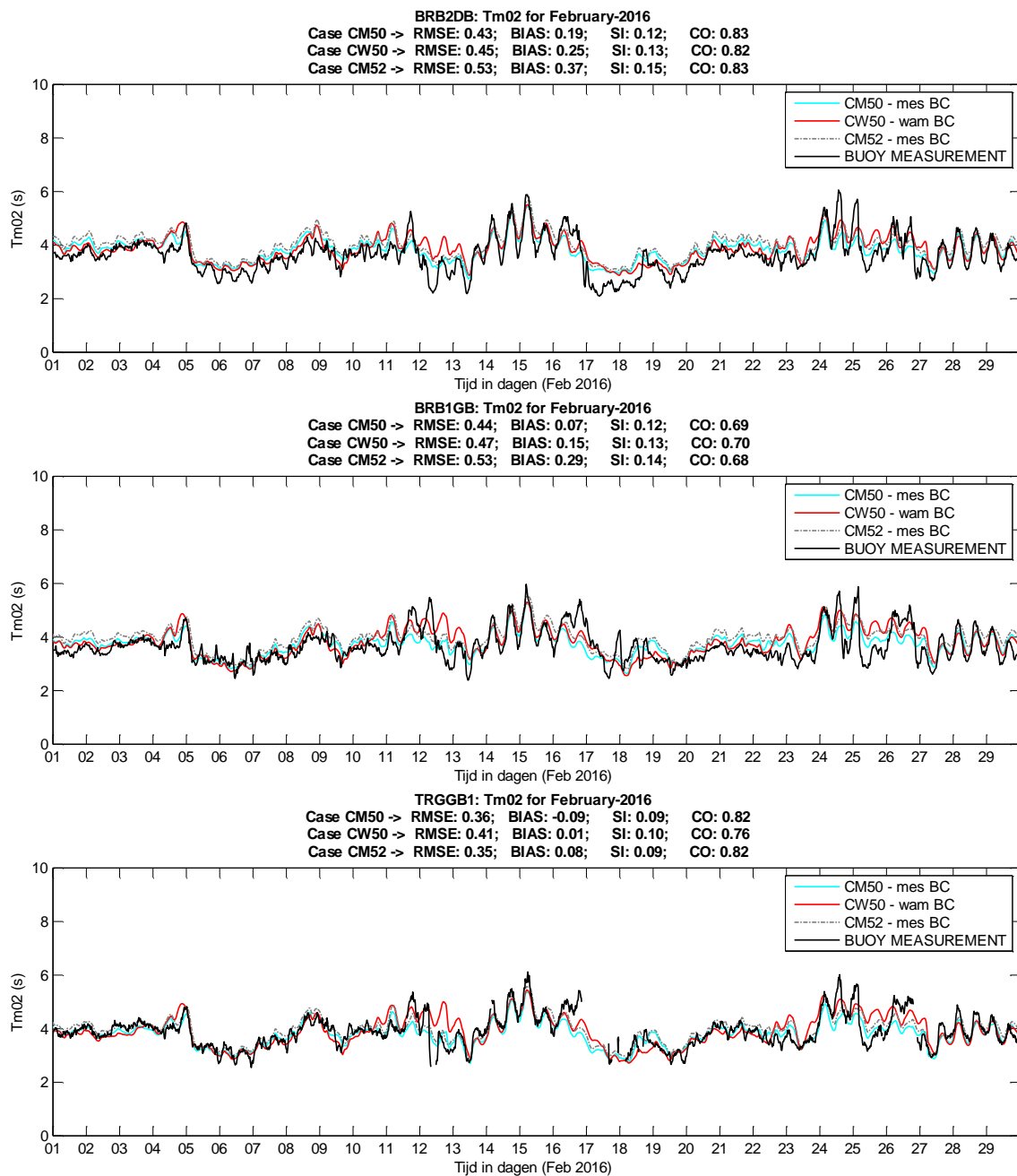


BRB3GB: Tm02 for February-2016
Case CM50 -> RMSE: 0.39; BIAS: 0.15; SI: 0.10; CO: 0.87
Case CW50 -> RMSE: 0.58; BIAS: 0.32; SI: 0.15; CO: 0.75
Case CM52 -> RMSE: 0.41; BIAS: 0.22; SI: 0.10; CO: 0.88

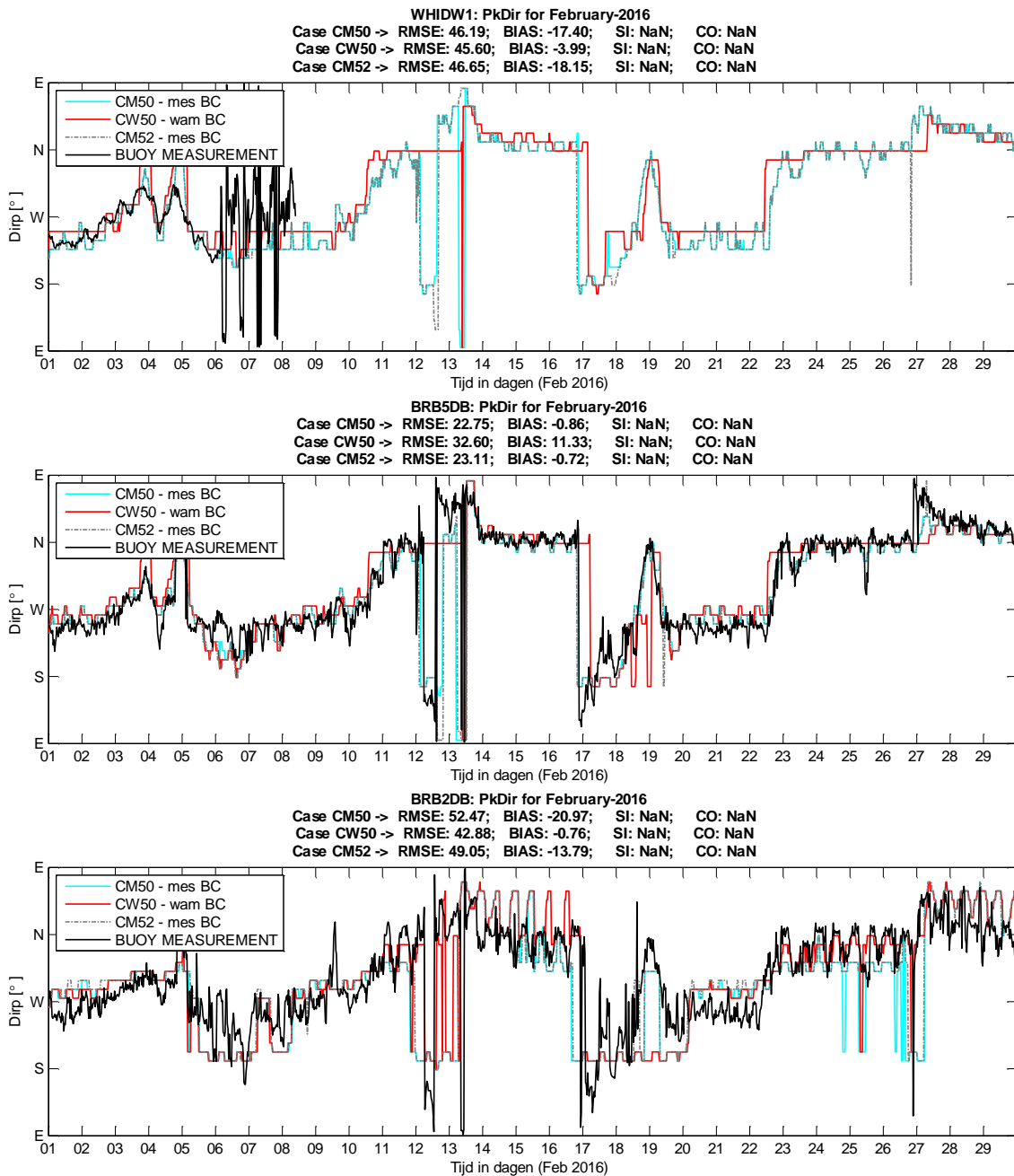


BRB4GB: Tm02 for February-2016
Case CM50 -> RMSE: 0.39; BIAS: -0.06; SI: 0.09; CO: 0.90
Case CW50 -> RMSE: 0.46; BIAS: -0.00; SI: 0.11; CO: 0.83
Case CM52 -> RMSE: 0.38; BIAS: 0.05; SI: 0.09; CO: 0.90

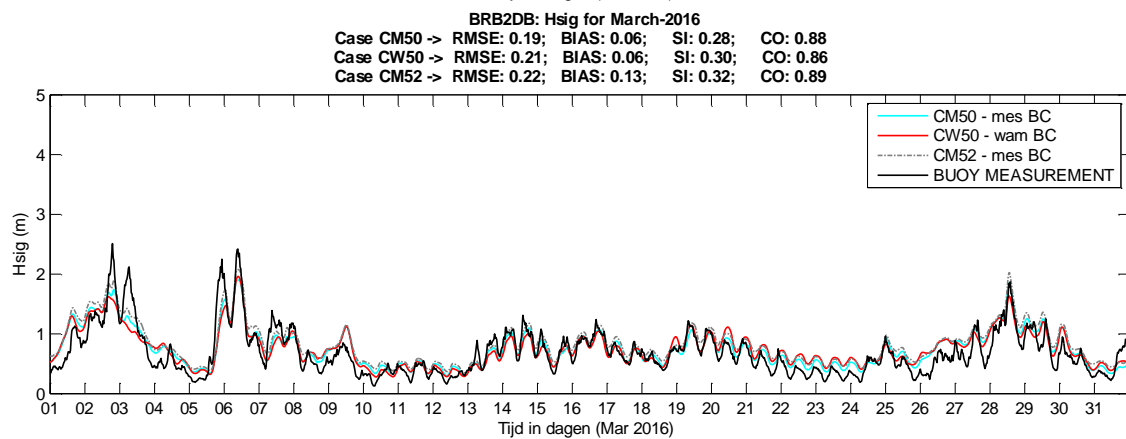
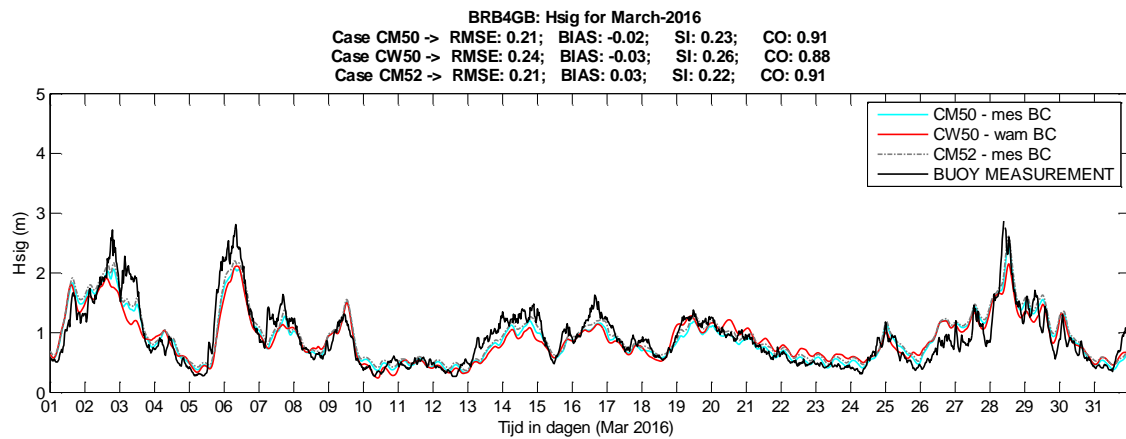
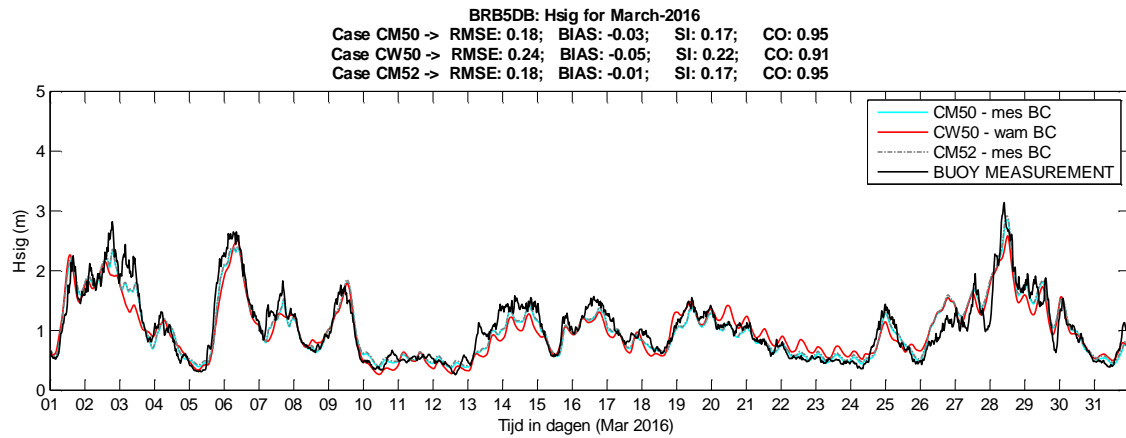
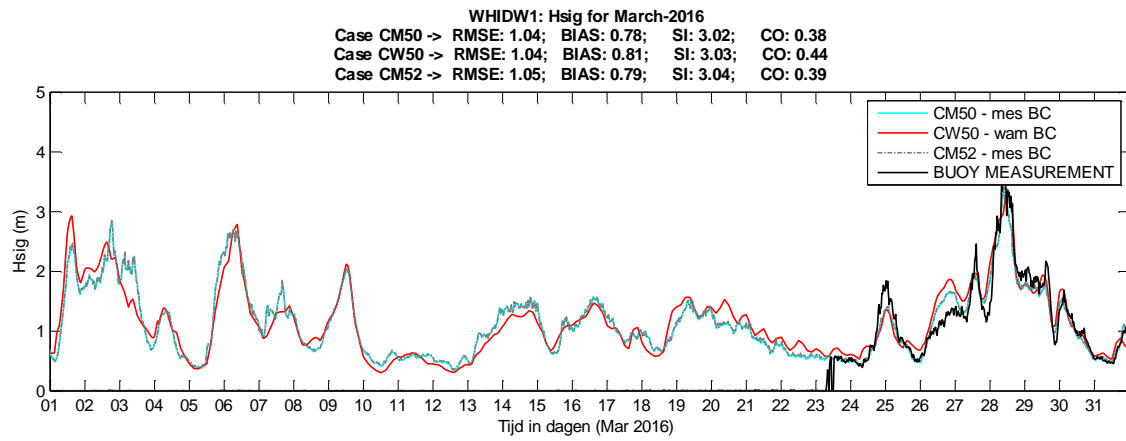


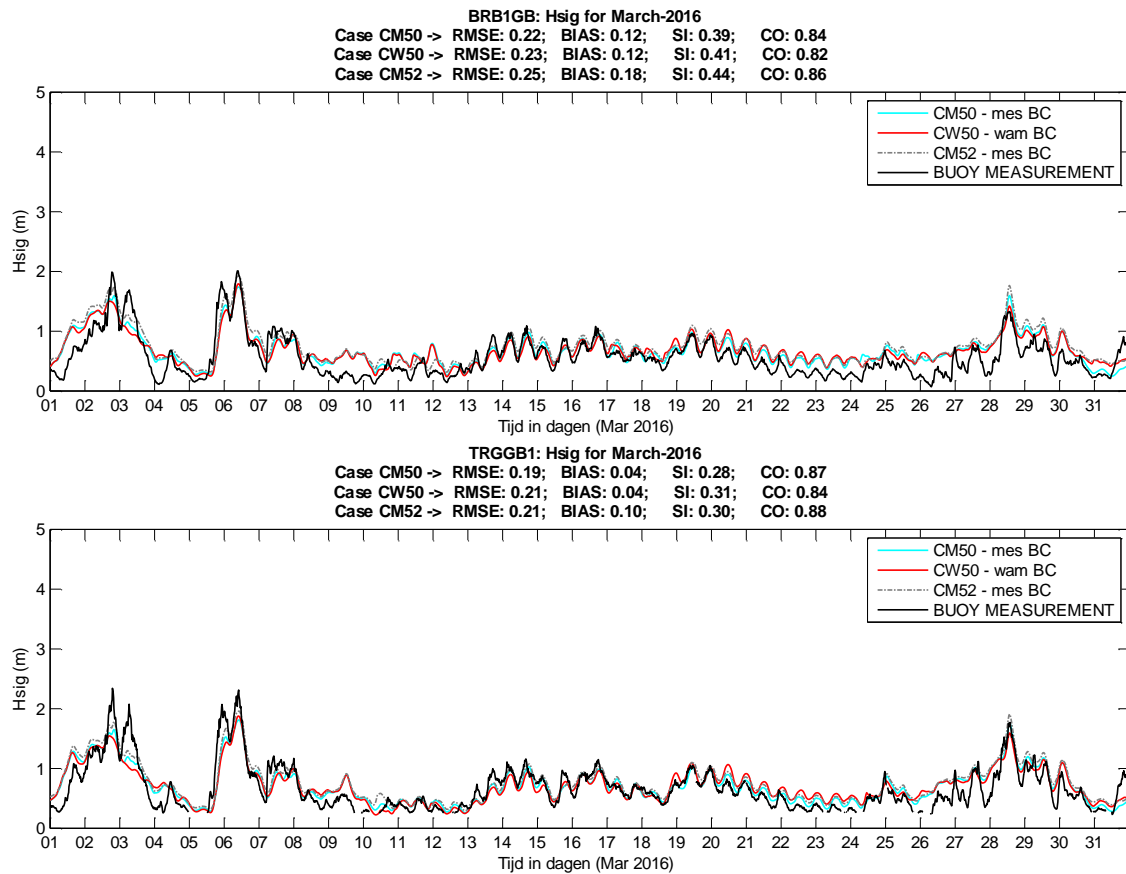


Figuur 3.8. (ook figuren op vorige pagina) Modelresultaat Tm02 simulatie februari 2016 voor model settings CM50, CW50 en CM52 voor de boeien op locaties WHIDW1, BRB5DB, BRB3GB, BRB4GB, BRB2DB, BRB1GB en TRGGB1.

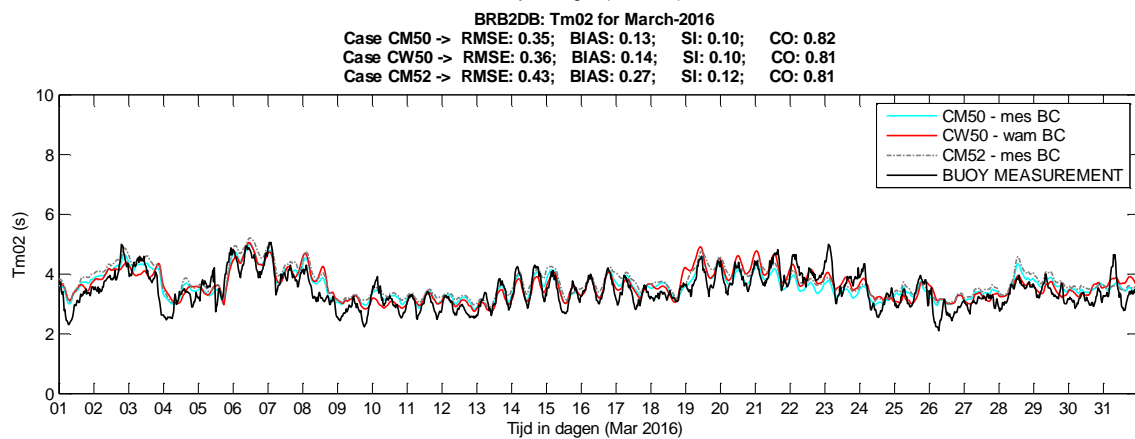
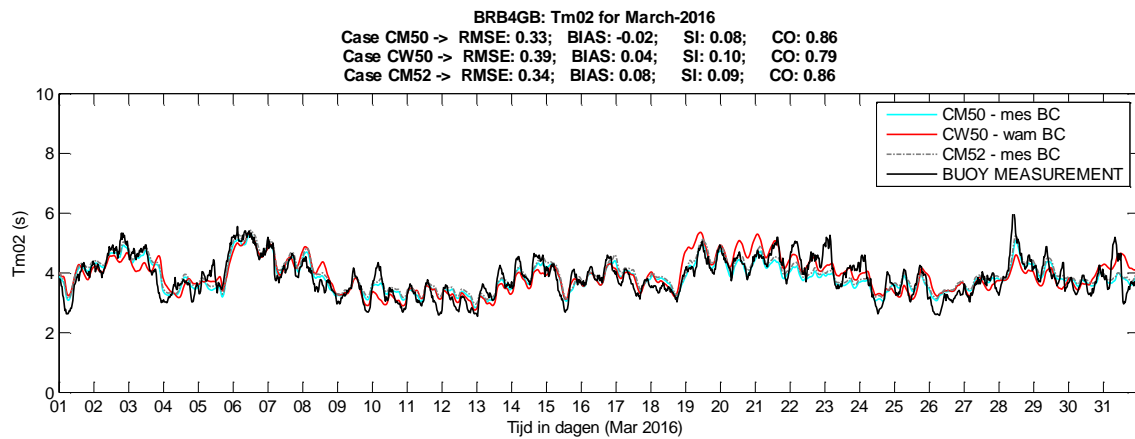
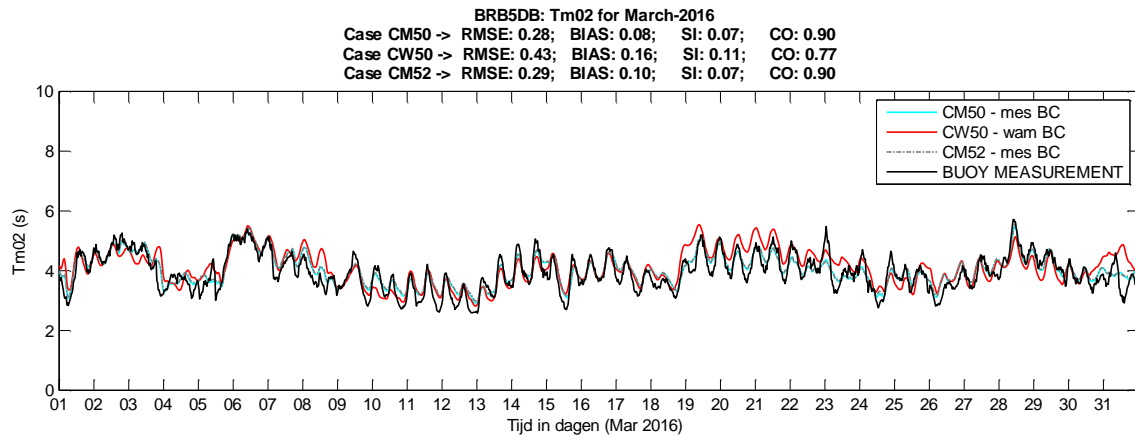
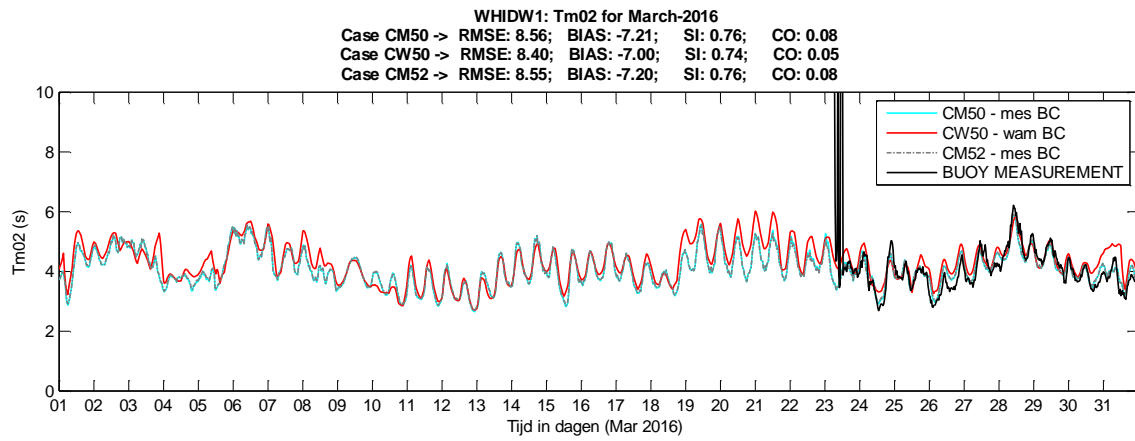


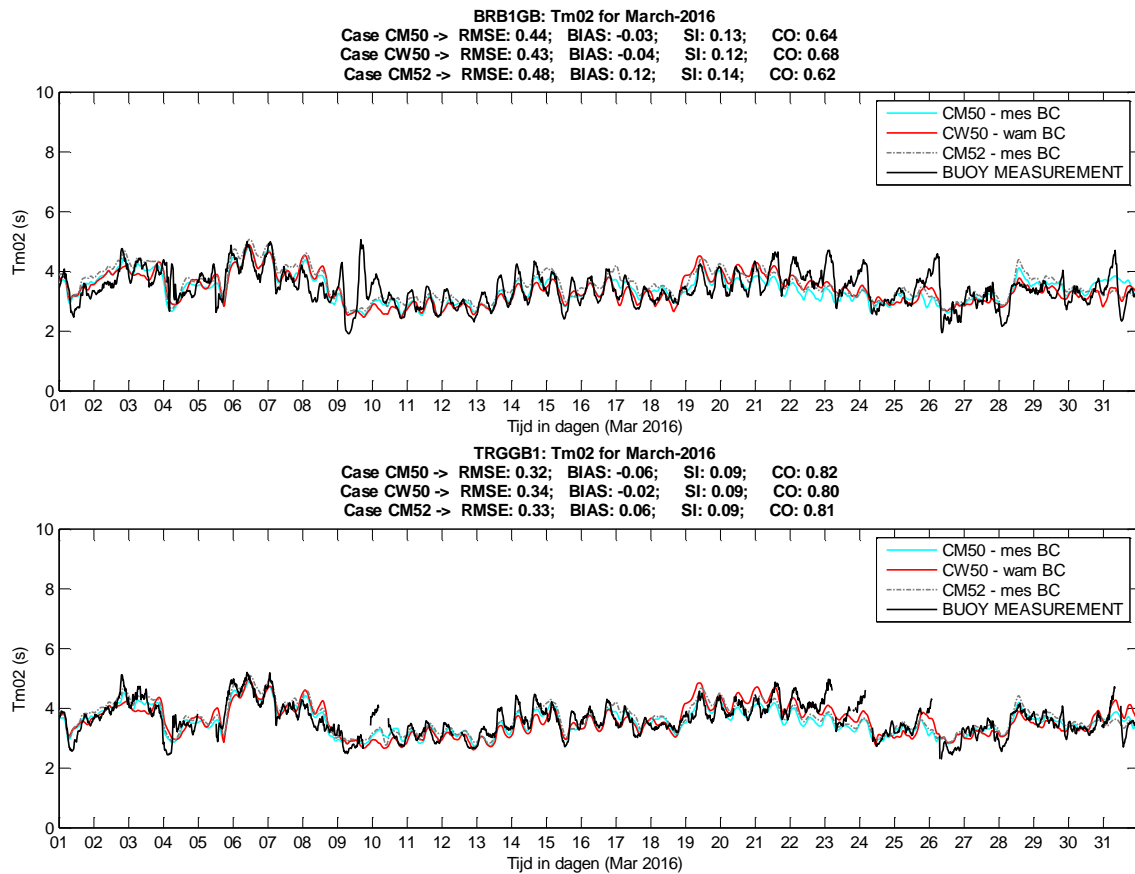
Figuur 3.9. Modelresultaat piekgolfrichting simulatie februari 2016 voor model settings CM50, CW50 en CM52 voor de boeien op locaties WHIDW1, BRB5DB en BRB2DB.



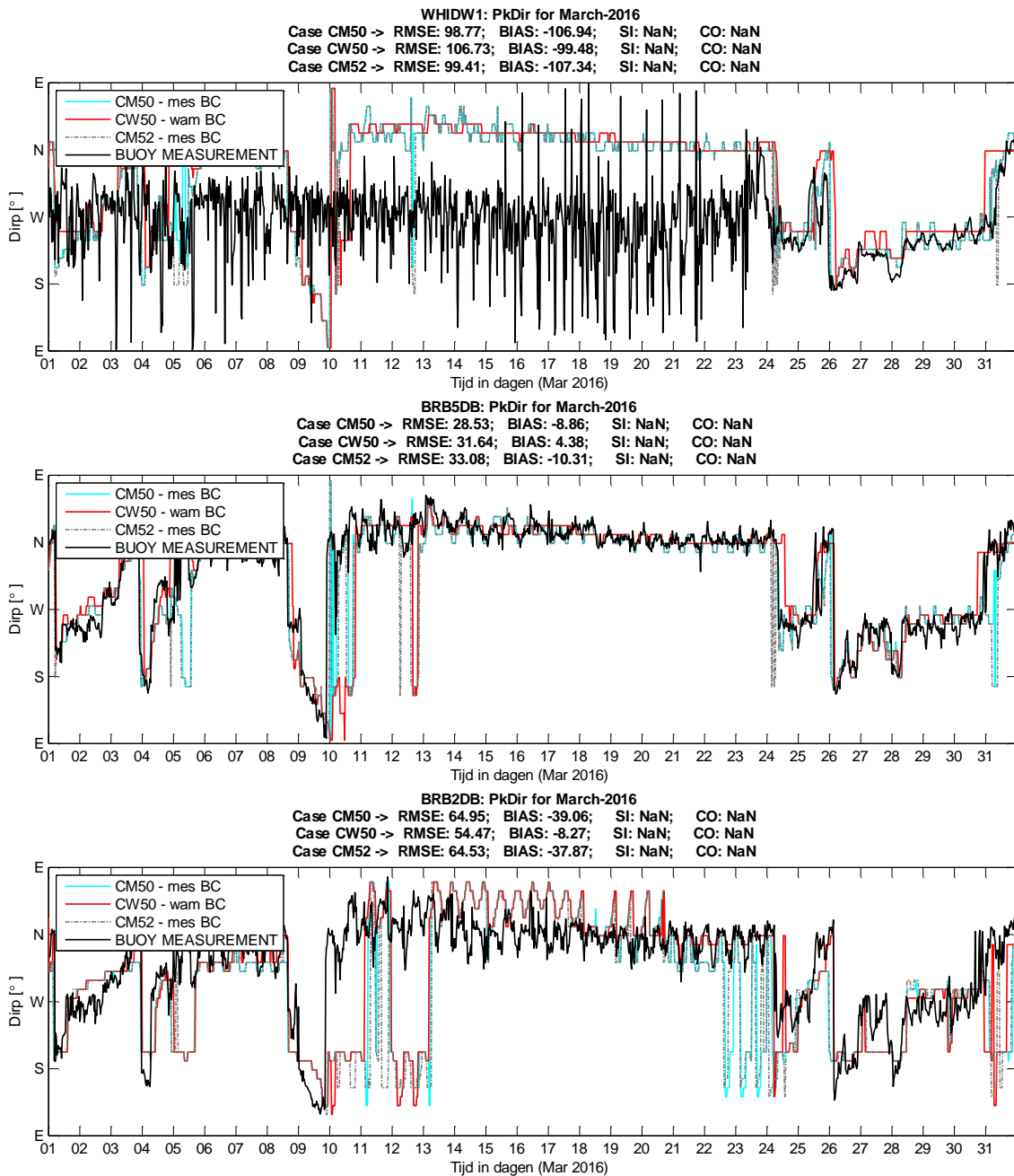


Figuur 3.10. (ook figuren op vorige pagina) Modelresultaat Hm0 simulatie maart 2016 voor model settings CM50, CW50 en CM52 voor de boeien op locaties WHIDW1, BRB5DB, BRB3GB, BRB4GB, BRB2DB, BRB1GB en TRGGB1.





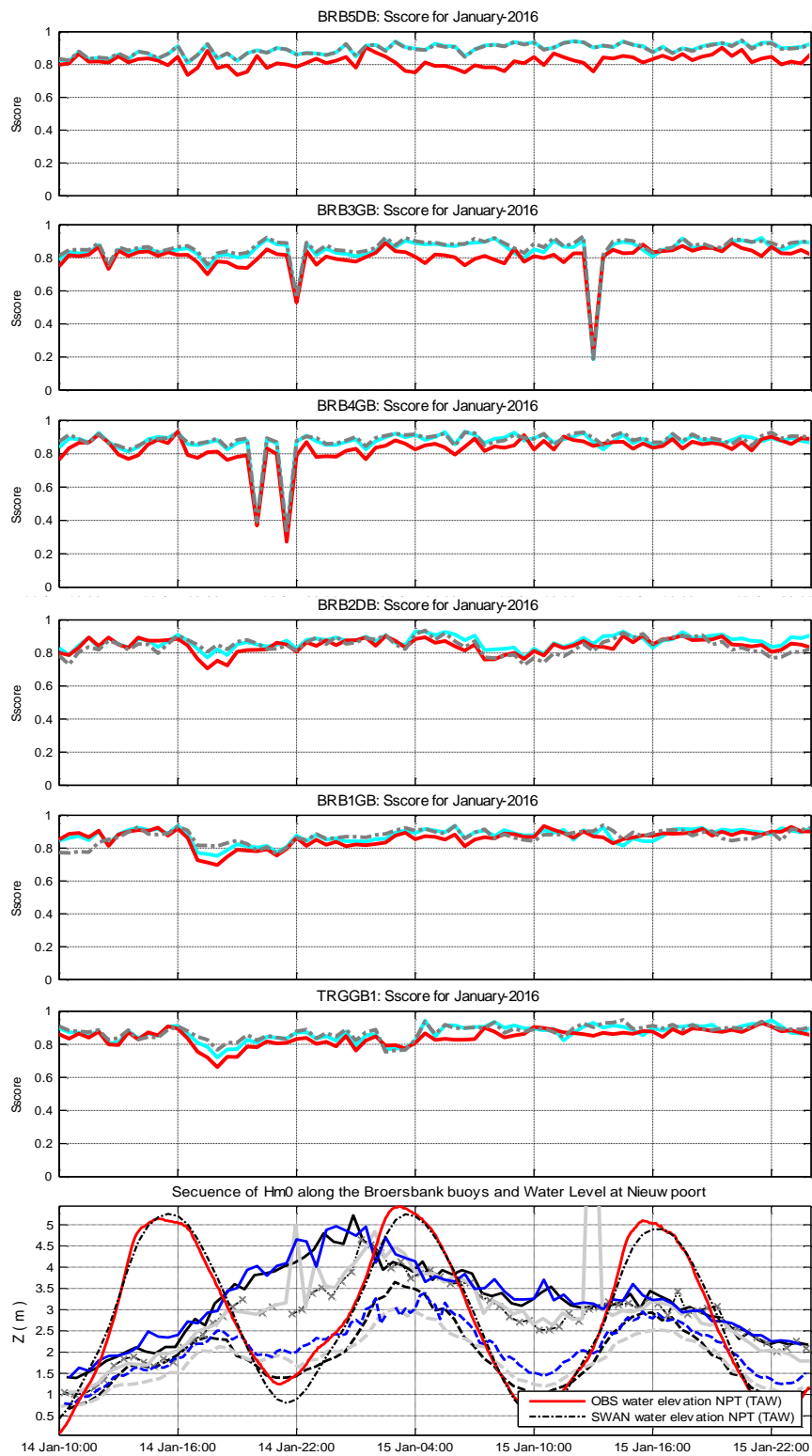
Figuur 3.11. (ook figuren op vorige pagina) Modelresultaat Tm02 simulatie maart 2016 voor model settings CM50, CW50 en CM52 voor de boeien op locaties WHIDW1, BRB5DB, BRB3GB, BRB4GB, BRB2DB, BRB1GB en TRGGB1.



Figuur 3.12. Modelresultaat piekgolfrichting simulatie maart 2016 voor model settings CM50, CW50 en CM52 voor de boeien op locaties WHIDW1, BRB5DB en BRB2DB.

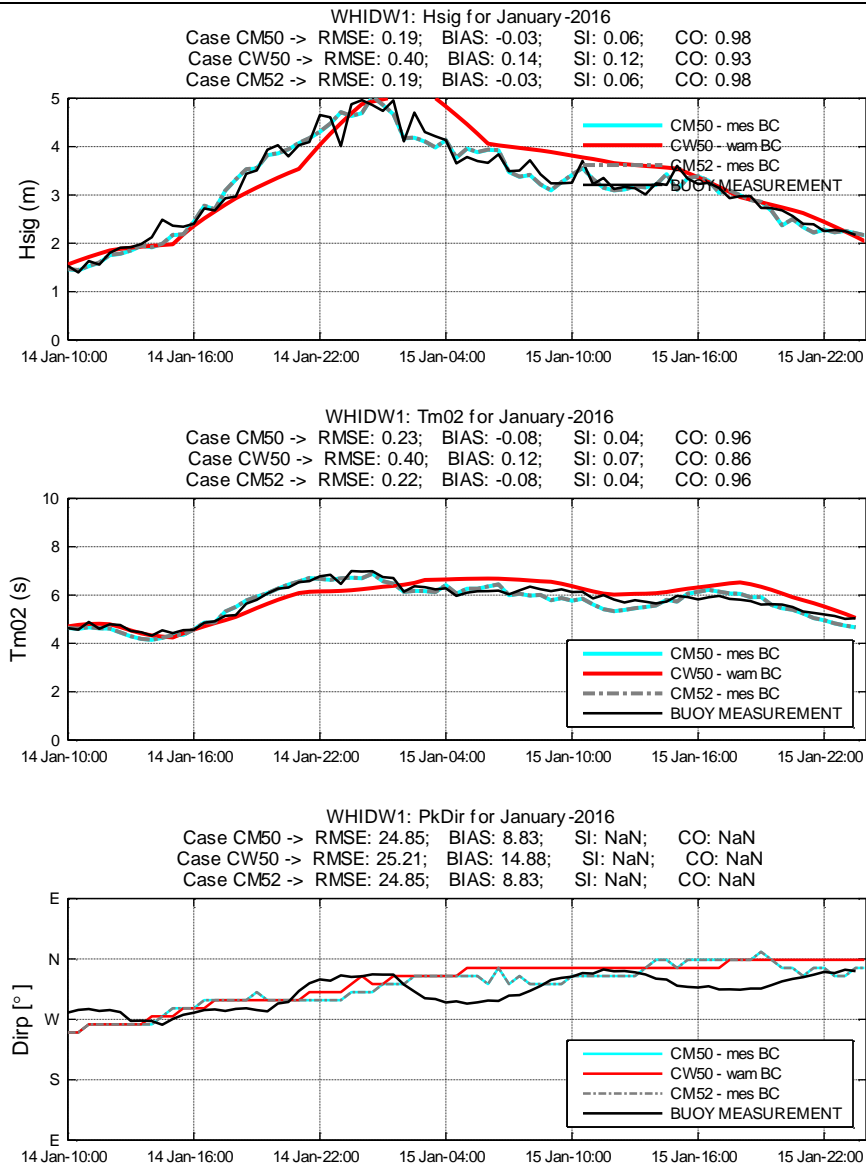
ANNEX 4. S-SCORE EN STORM ANALYSE

Storm 14-16 januari 2016.

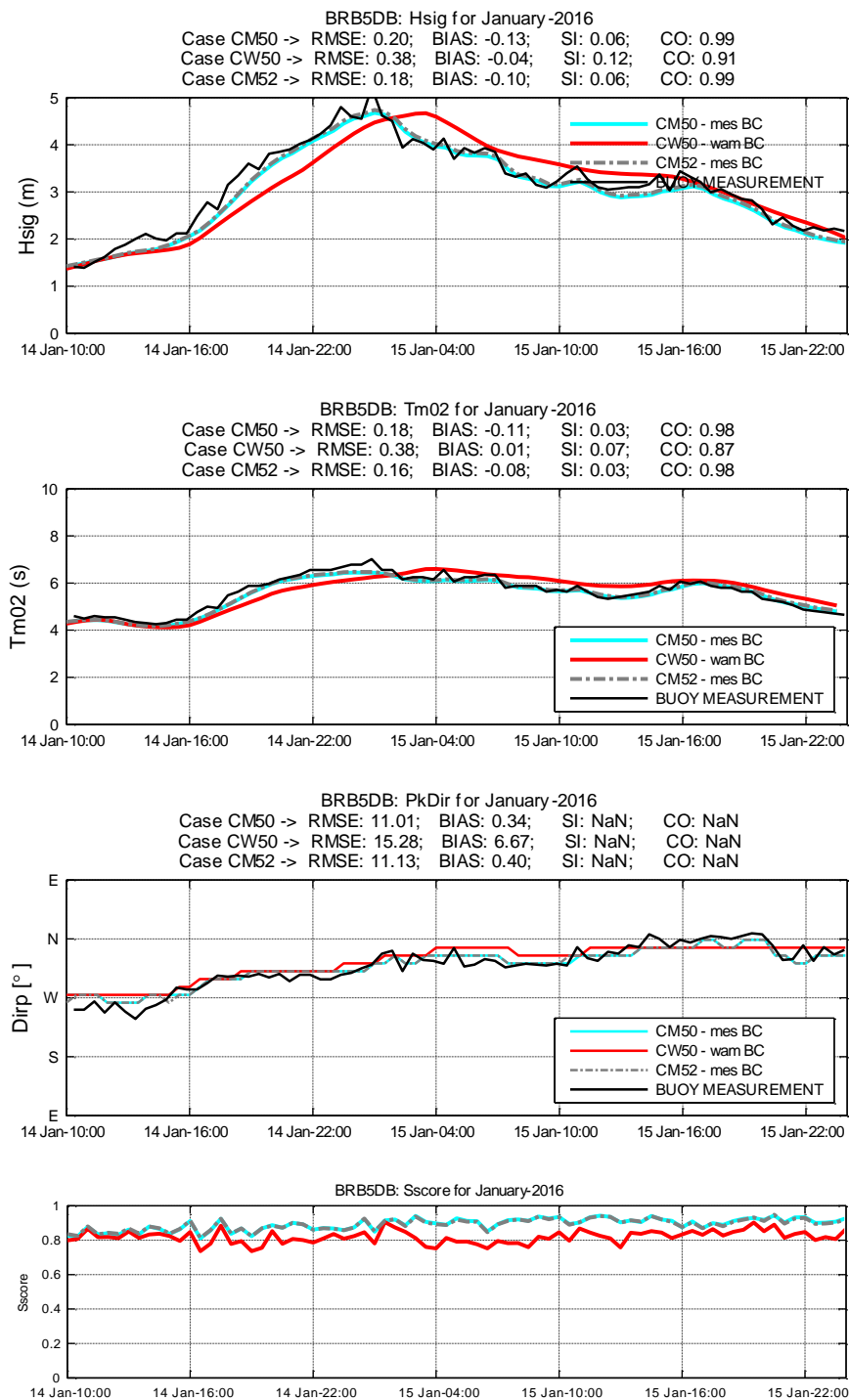


Figuur 4.1. Tijdreeksen S-score voor de 7 locaties voor de storm van 14-16 januari.

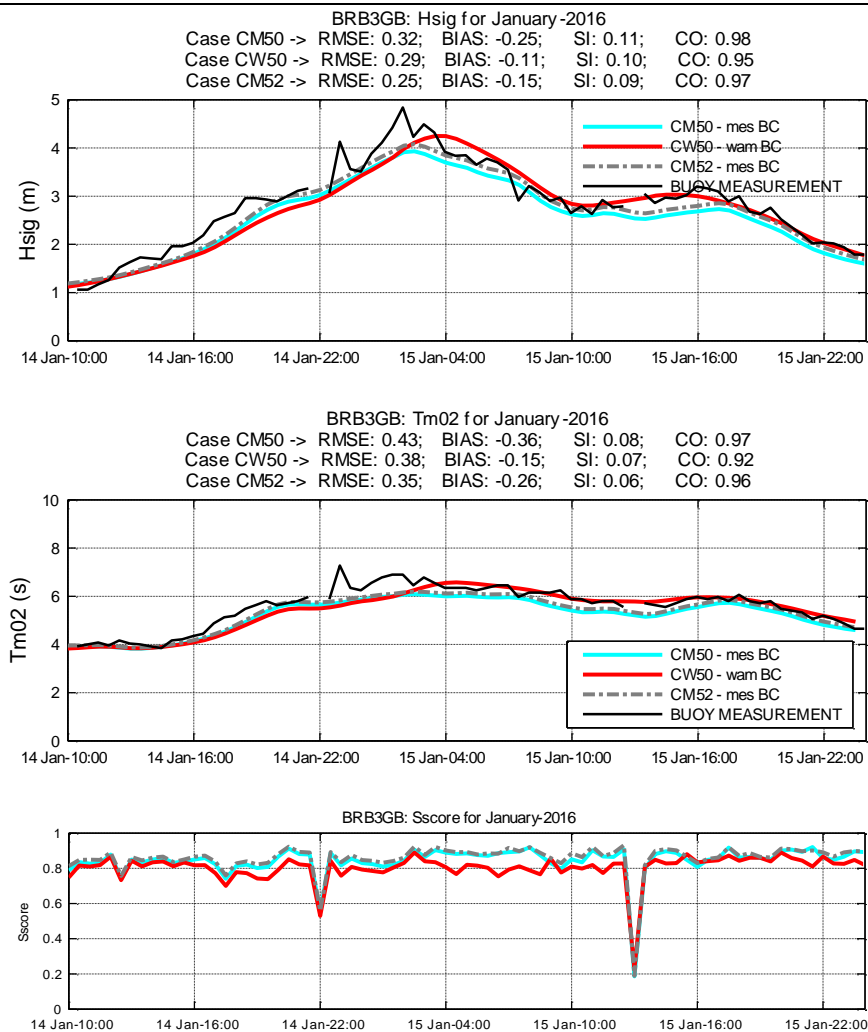
BRB5DB
BRB2DB
BRB4GB
BRB3GB
BRB1GB
WHIDW1
TRGB1



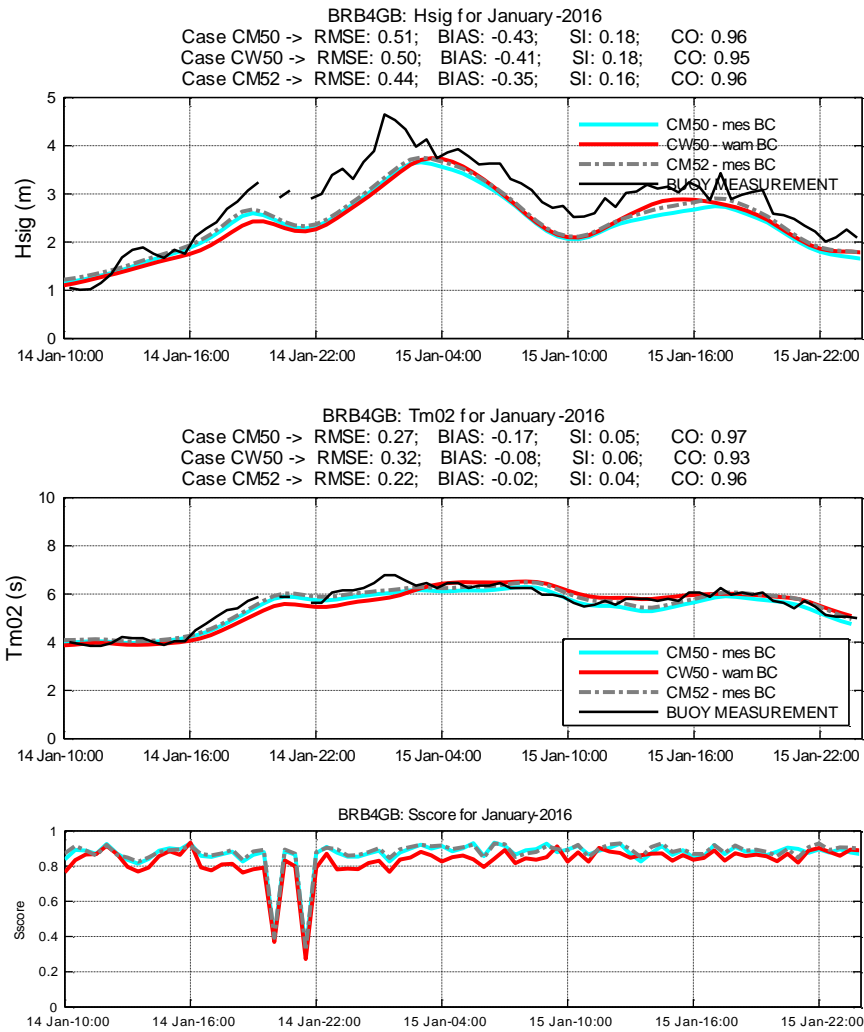
Figuur 4.2. Modelresultaat Hmo, Tm02, piekgolfrichting en S-score voor storm 14-16 januari 2016 voor model settings CM50, CW50 en CM52 voor de boeien op locatie WHIDW1.



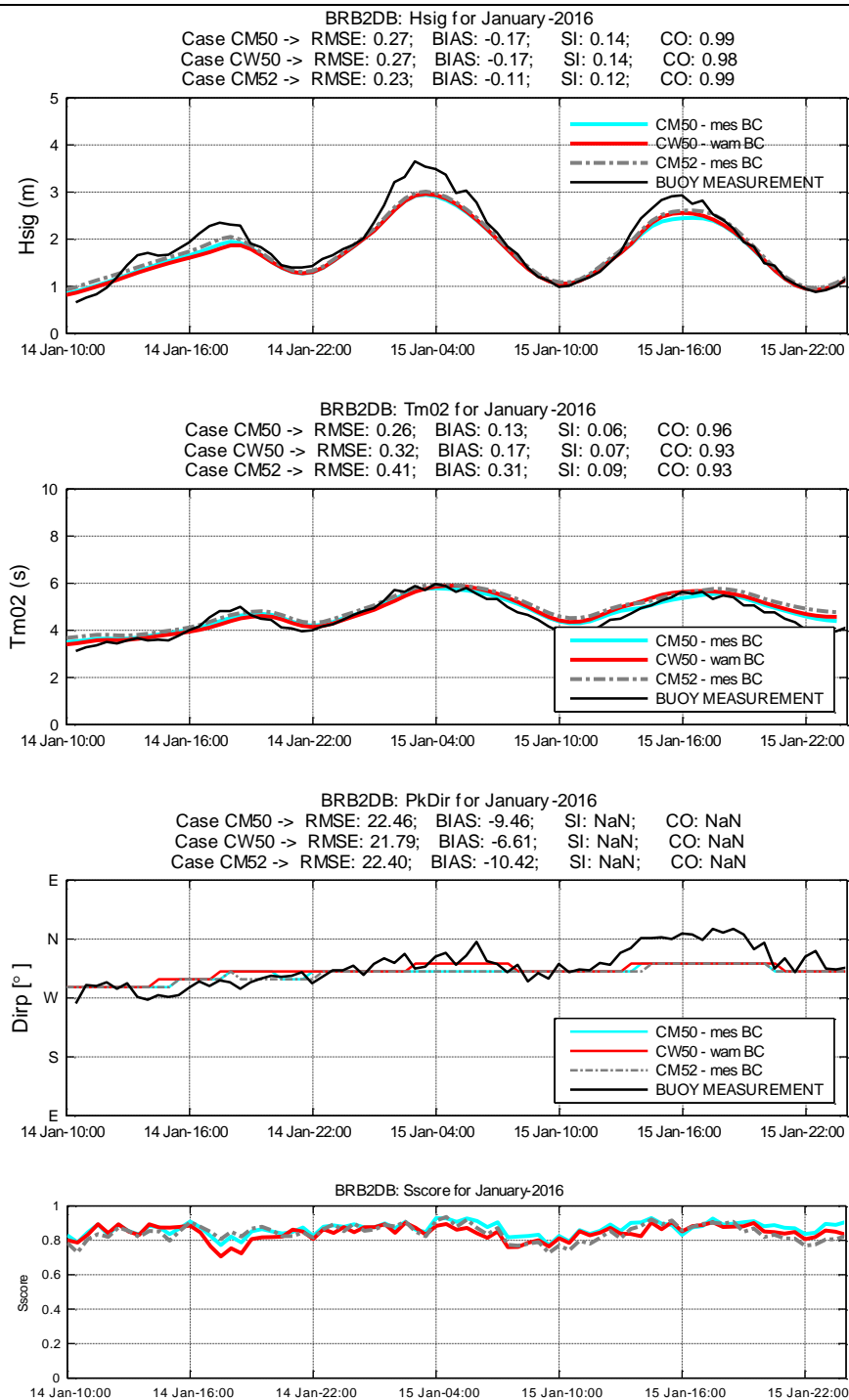
Figuur 4.3. Modelresultaat Hmo, Tm02, piekgolfrichting en S-score voor storm 14-16 januari 2016 voor model settings CM50, CW50 en CM52 voor de boeien op locatie BRB5DB.



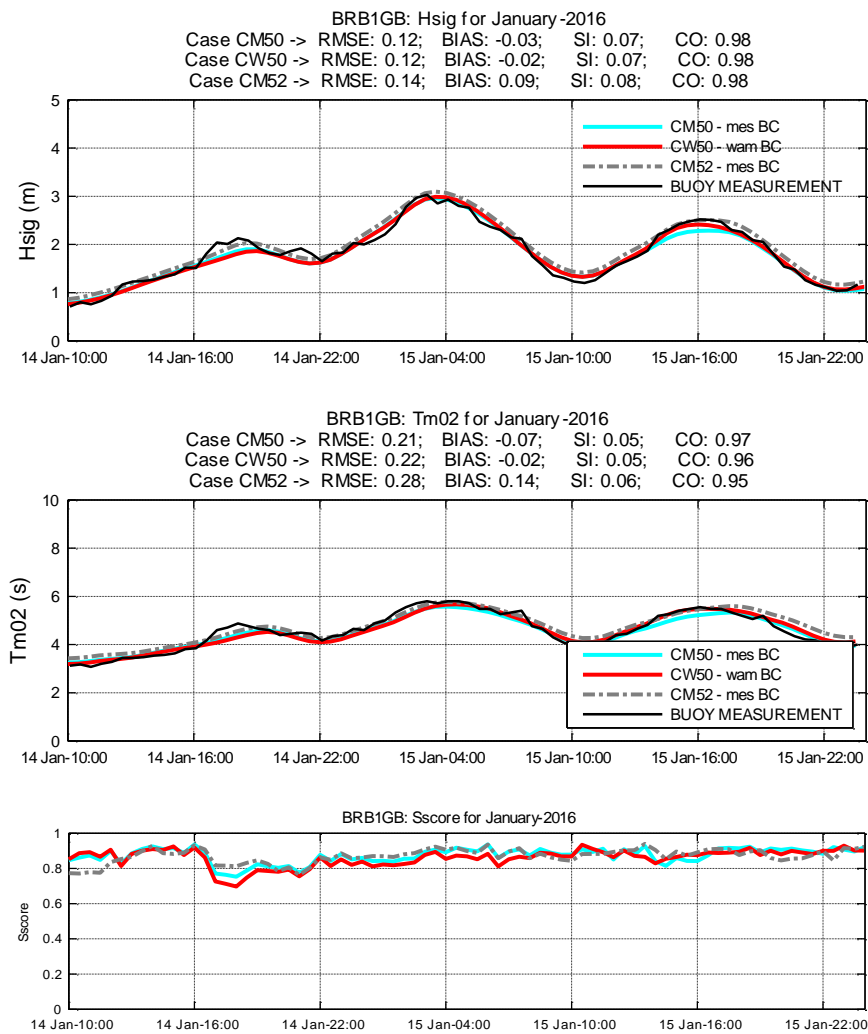
Figuur 4.4. Modelresultaat Hmo, Tm02 en S-score voor storm 14-16 januari 2016 voor model settings CM50, CW50 en CM52 voor de boeien op locatie BRB3GB.



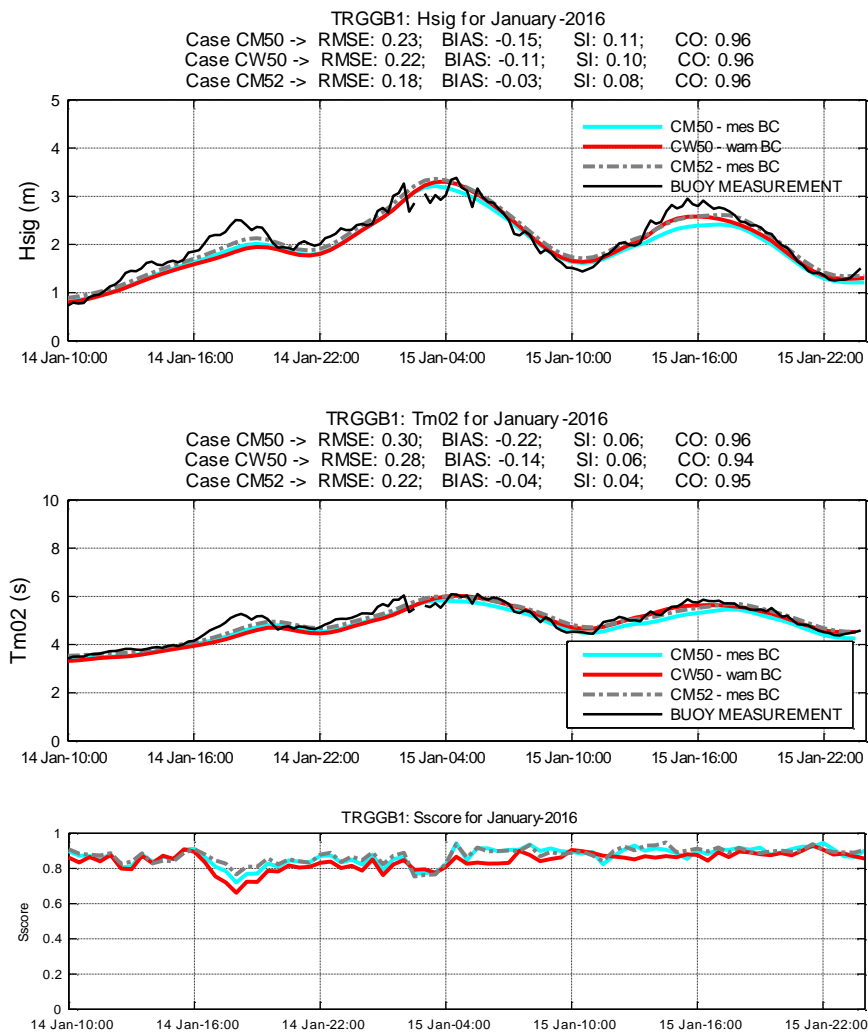
Figuur 4.5. Modelresultaat Hmo, Tm02 en S-score voor storm 14-16 januari 2016 voor model settings CM50, CW50 en CM52 voor de boeien op locatie BRB4GB.



Figuur 4.6. Modelresultaat Hmo, Tm02, piekgolfrichting en S-score voor storm 14-16 januari 2016 voor model settings CM50, CW50 en CM52 voor de boeien op locatie BRB2DB.

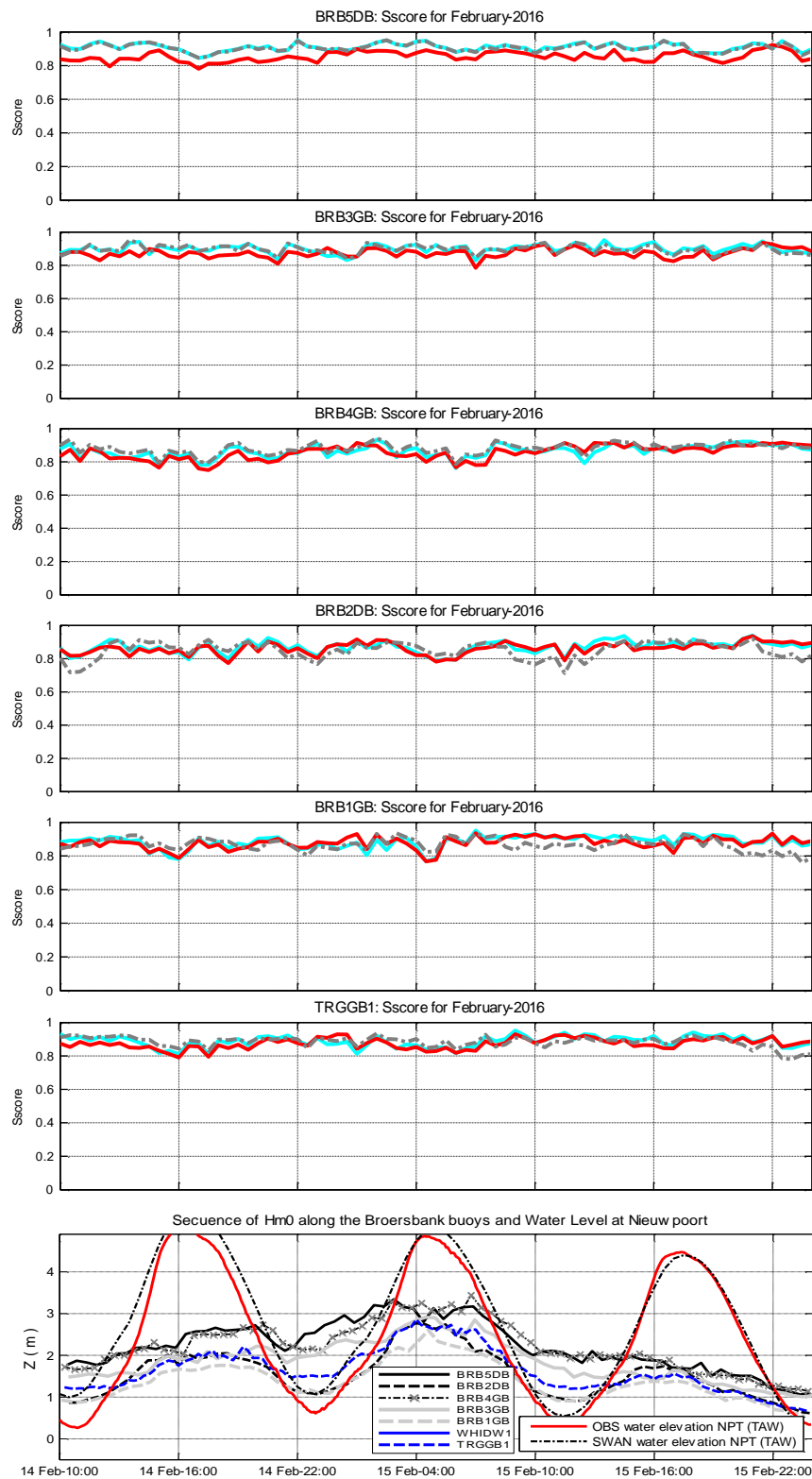


Figuur 4.7. Modelresultaat Hmo, Tm02 en S-score voor storm 14-16 januari 2016 voor model settings CM50, CW50 en CM52 voor de boeien op locatie BRB1GB.

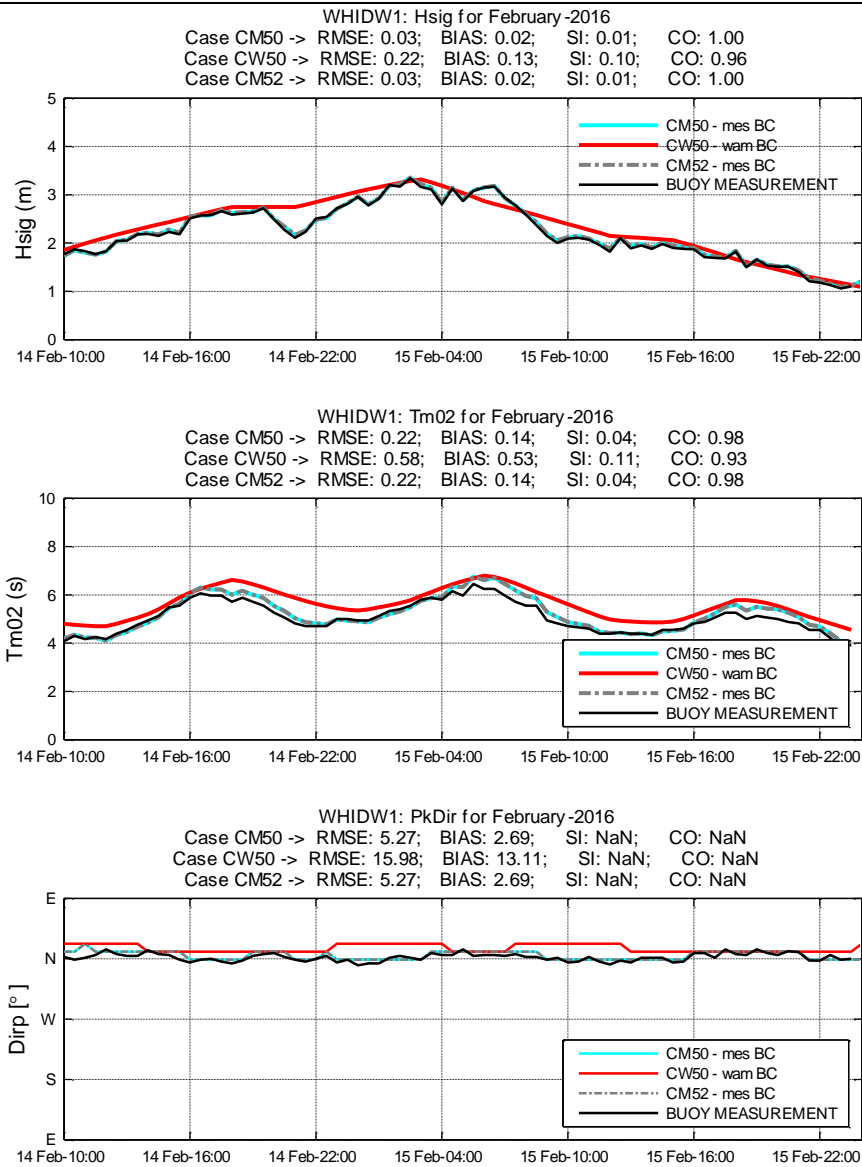


Figuur 4.8. Modelresultaat Hmo, Tm02 en S-score voor storm 14-16 januari 2016 voor model settings CM50, CW50 en CM52 voor de boeien op locatie TRGGB1.

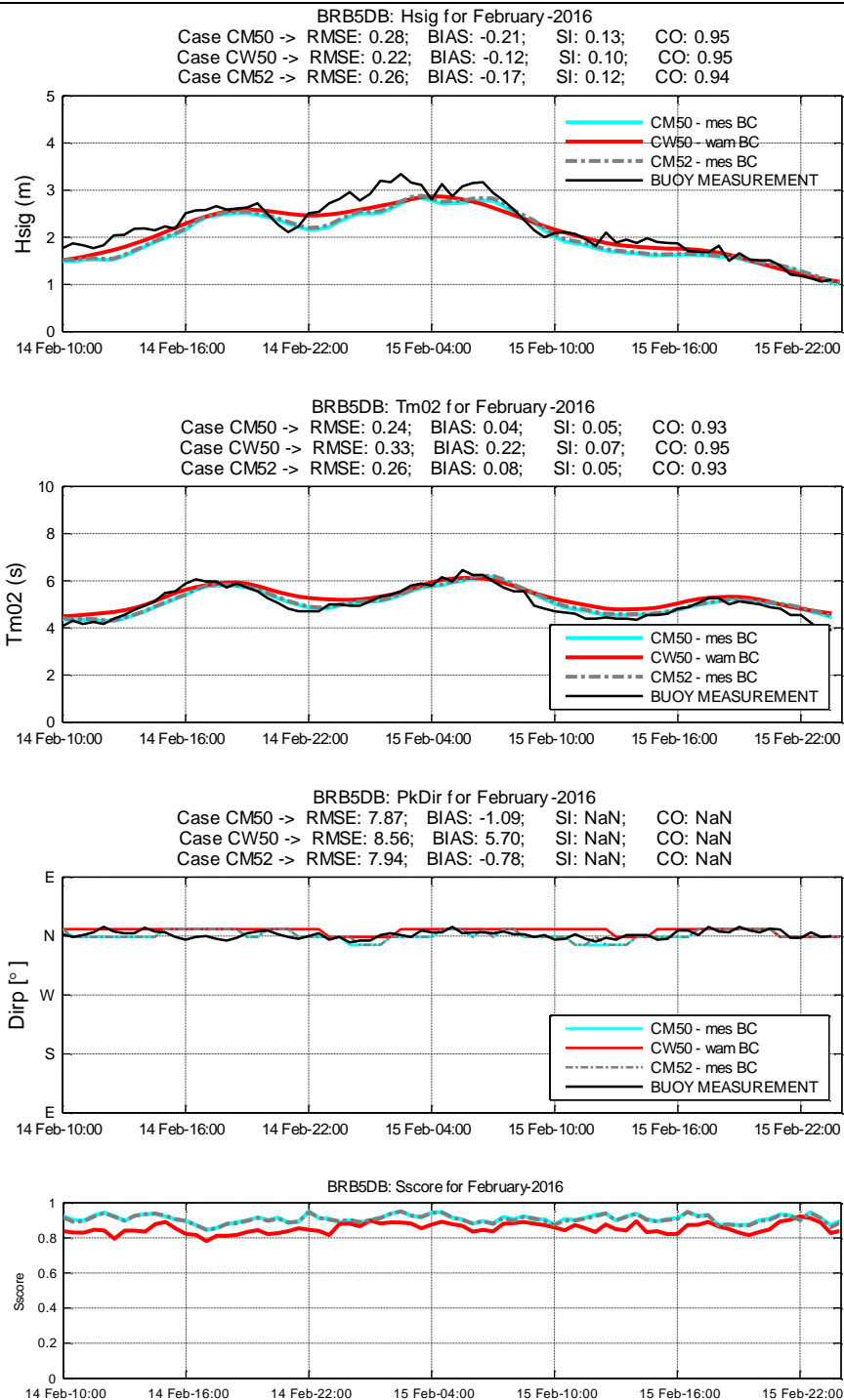
Storm 14-16 februari 2016.



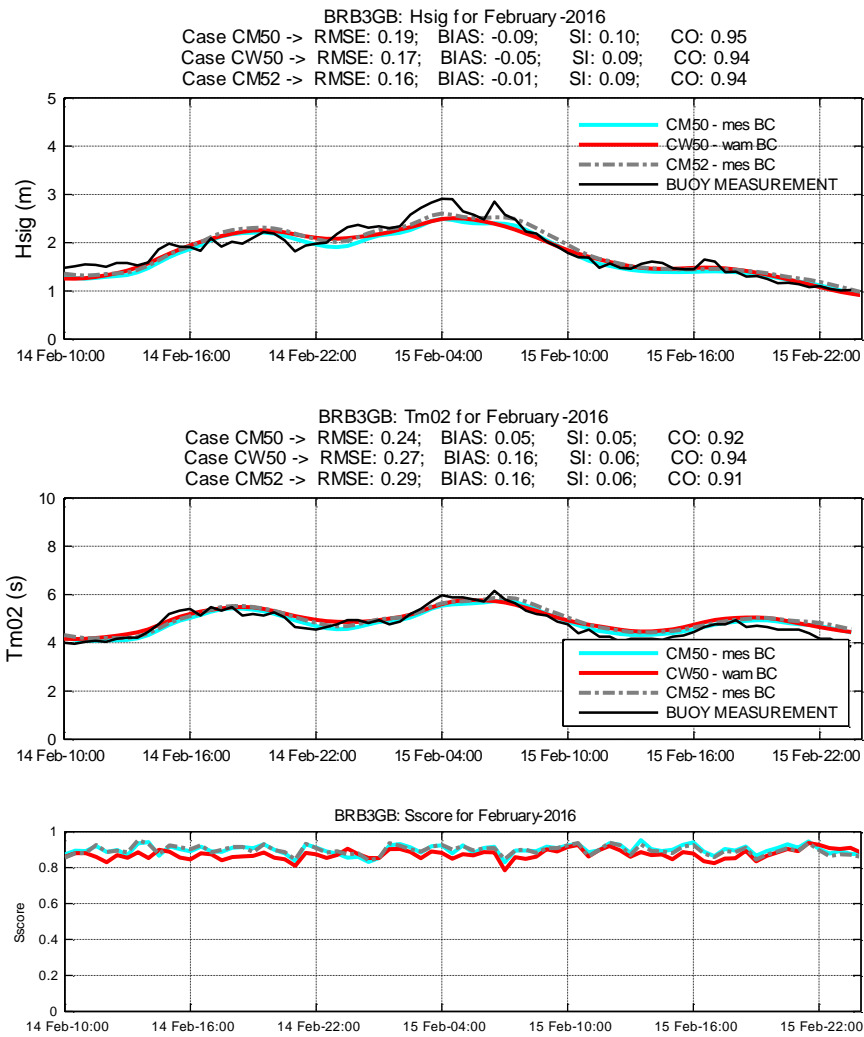
Figuur 4.9. Tijdreeksen S-score voor de 7 locaties voor de storm van 14-16 februari 2016.



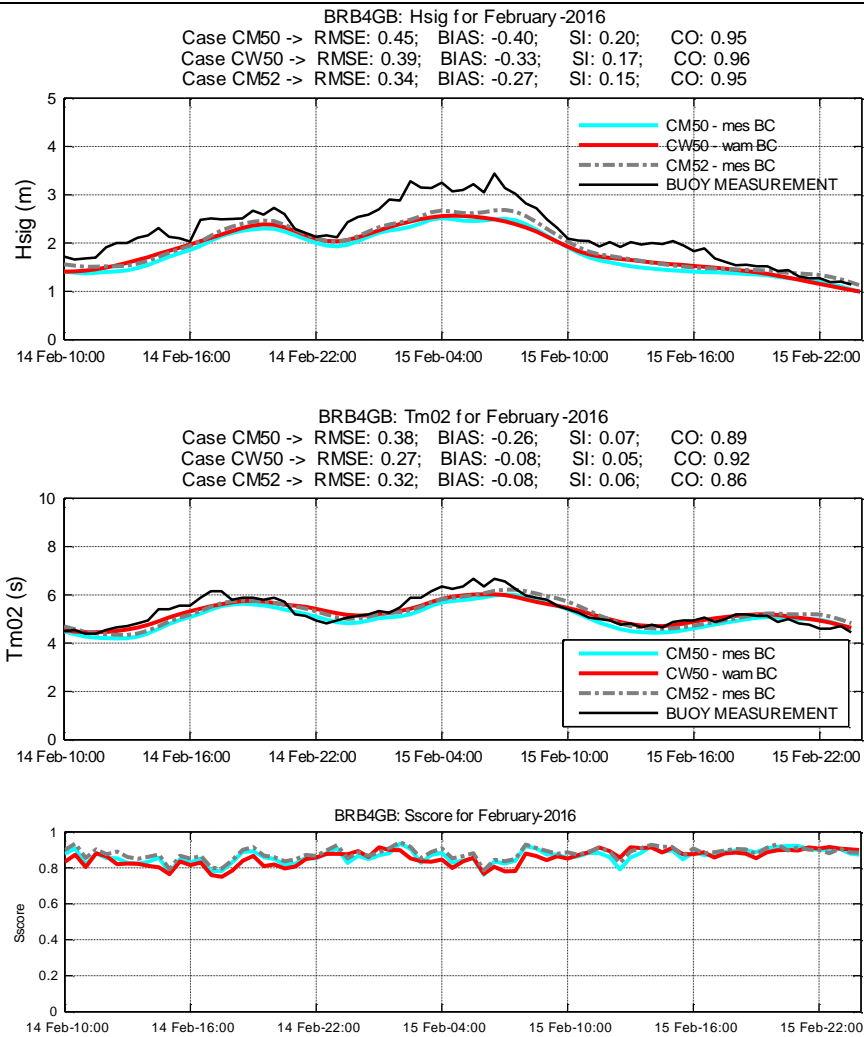
Figuur 4.10. Modelresultaat Hmo, Tm02, piekgolfrichting en S-score voor storm 14-16 februari 2016 voor model settings CM50, CW50 en CM52 voor de boeien op locatie WHIDW1. Noteer dat de boeigegevens die hier getoond worden niet de boeigegevens van WHIDW1 zijn, maar die van BRB5DB.



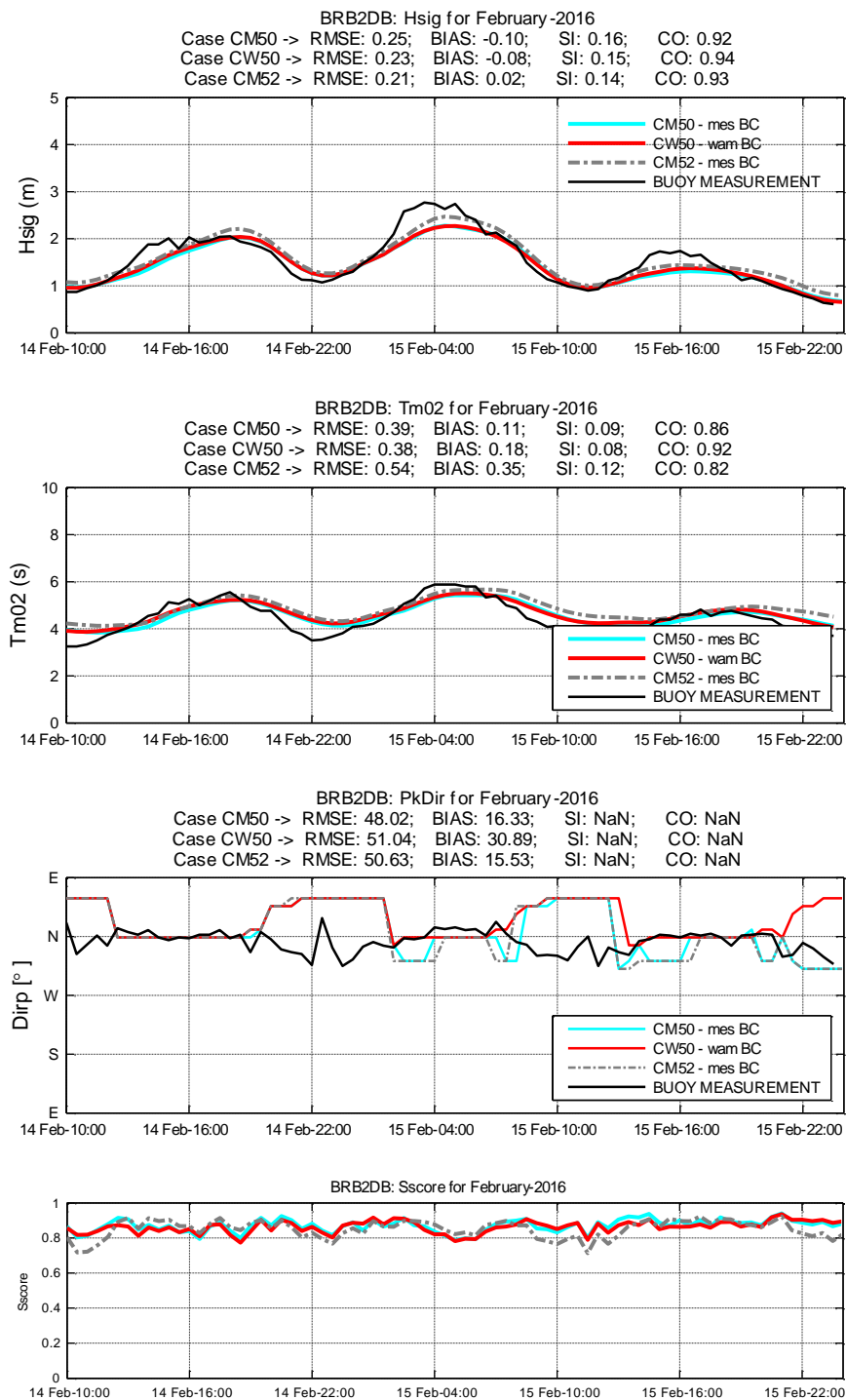
Figuur 4.11. Modelresultaat Hmo, Tm02, piekgolfrichting en S score voor storm 14-16 februari 2016 voor model settings CM50, CW50 en CM52 voor de boeien op locatie BRB5DB.



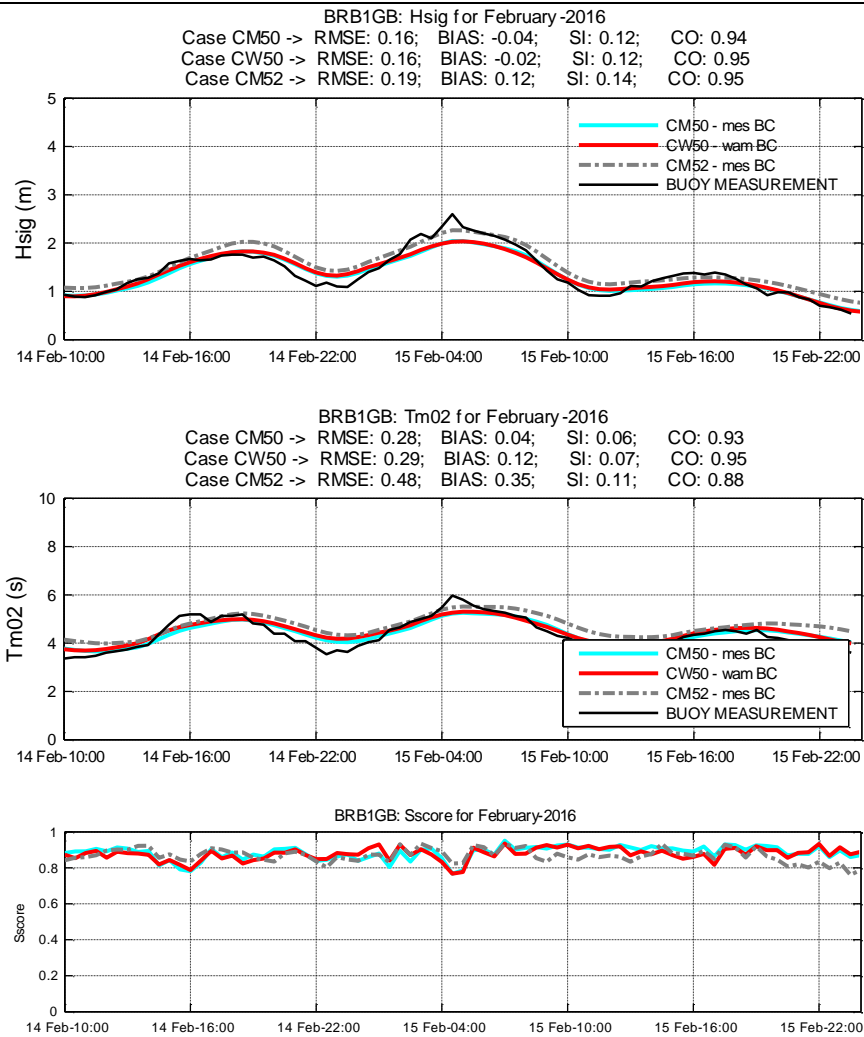
Figuur 4.12. Modelresultaat Hmo, Tm02 en S-score voor storm 14-16 februari 2016 voor model settings CM50, CW50 en CM52 voor de boeien op locatie BRB3GB.



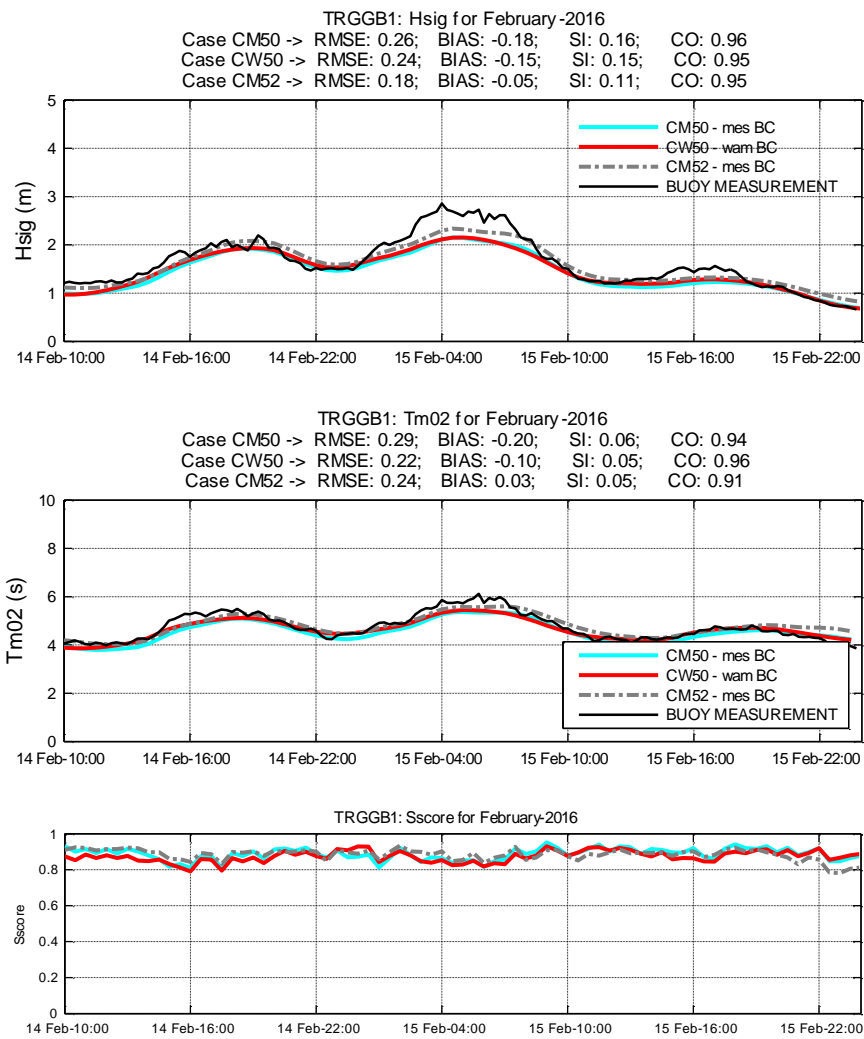
Figuur 4.13. Modelresultaat Hmo, Tm02 en S-score voor storm 14-16 februari 2016 voor model settings CM50, CW50 en CM52 voor de boeien op locatie BRB4GB.



Figuur 4.14. Modelresultaat Hmo, Tm02, piekgolfrichting en S-score voor storm 14-16 februari 2016 voor model settings CM50, CW50 en CM52 voor de boeien op locatie BRB2DB.



Figuur 4.15. Modelresultaat Hmo, Tm02 en S-score voor storm 14-16 februari 2016 voor model settings CM50, CW50 en CM52 voor de boeien op locatie BRB1GB.



Figuur 4.16. Modelresultaat Hmo, Tm02 en S-score voor storm 14-16 februari 2016 voor model settings CM50, CW50 en CM52 voor de boeien op locatie TRGGB1.

ANNEX 5. TIJDSLIJN STATISTISCHE PARAMETERS

Hm0	WHIDW1	December 2015	Januari 2016	Februari 2016	Maart 2016
RMSE	CM50	(-)	0.19	(*)	(-)
	CW50	(-)	0.40	(*)	(-)
	CM52	(-)	0.19	(*)	(-)
BIAS	CM50	(-)	-0.03	(*)	(-)
	CW50	(-)	0.14	(*)	(-)
	CM52	(-)	-0.03	(*)	(-)
SI	CM50	(-)	0.06	(*)	(-)
	CW50	(-)	0.12	(*)	(-)
	CM52	(-)	0.06	(*)	(-)
CO	CM50	(-)	0.98	(*)	(-)
	CW50	(-)	0.93	(*)	(-)
	CM52	(-)	0.98	(*)	(-)

Figuur 5.1. Tijdslijn statistische parameters voor Hm0 op locatie WHIDW1 voor de periode december 2015-maart 2016 bij stormcondities. (*): grote leemtes in meetgegevens boei WHIDW1, de statistieken getoond in Figuur 4.10 werden berekend met de gegevens van BRB5DB en worden daarom hier niet meegenomen. (-) geen storm gekozen in december 2015 en maart 2016

Hm0	BRB5DB	December 2015	Januari 2016	Februari 2016	Maart 2016
RMSE	CM50	(-)	0.20	0.28	(-)
	CW50	(-)	0.38	0.22	(-)
	CM52	(-)	0.18	0.26	(-)
BIAS	CM50	(-)	-0.13	-0.21	(-)
	CW50	(-)	0.12	-0.12	(-)
	CM52	(-)	-0.10	-0.17	(-)
SI	CM50	(-)	0.06	0.13	(-)
	CW50	(-)	0.12	0.10	(-)
	CM52	(-)	0.06	0.12	(-)
CO	CM50	(-)	0.99	0.95	(-)
	CW50	(-)	0.91	0.95	(-)
	CM52	(-)	0.99	0.94	(-)

Figuur 5.2. Tijdslijn statistische parameters voor Hm0 op locatie BRB5DB voor de periode december 2015-maart 2016 bij stormcondities. (-) geen storm gekozen in december 2015 en maart 2016

Hm0	BRB3GB	December 2015	Januari 2016	Februari 2016	Maart 2016
RMSE	CM50	(-)	0.32	0.19	(-)
	CW50	(-)	0.29	0.17	(-)
	CM52	(-)	0.25	0.16	(-)
BIAS	CM50	(-)	-0.25	-0.09	(-)
	CW50	(-)	-0.11	-0.05	(-)
	CM52	(-)	-0.15	-0.01	(-)
SI	CM50	(-)	0.11	0.10	(-)
	CW50	(-)	0.10	0.09	(-)
	CM52	(-)	0.09	0.09	(-)
CO	CM50	(-)	0.98	0.95	(-)
	CW50	(-)	0.95	0.94	(-)
	CM52	(-)	0.97	0.94	(-)

Figuur 5.3. Tijdslijn statistische parameters voor Hm0 op locatie BRB3GB voor de periode september-Maart 2016 bij stormcondities. (-) geen storm gekozen in december 2015 en maart 2016

Hm0	BRB4GB	December 2015	Januari 2016	Februari 2016	Maart 2016
RMSE	CM50	(-)	0.51	0.45	(-)
	CW50	(-)	0.50	0.39	(-)
	CM52	(-)	0.44	0.34	(-)
BIAS	CM50	(-)	-0.43	-0.40	(-)
	CW50	(-)	-0.41	-0.33	(-)
	CM52	(-)	-0.35	-0.27	(-)
SI	CM50	(-)	0.18	0.20	(-)
	CW50	(-)	0.18	0.17	(-)
	CM52	(-)	0.16	0.15	(-)
CO	CM50	(-)	0.96	0.95	(-)
	CW50	(-)	0.95	0.96	(-)
	CM52	(-)	0.96	0.95	(-)

Figuur 5.4. Tijdslijn statistische parameters voor Hm0 op locatie BRB4GB voor de periode december 2015-maart 2016 bij stormcondities. (-) geen storm gekozen in december 2015 en maart 2016

Hm0	BRB2DB	December 2015	Januari 2016	Februari 2016	Maart 2016
RMSE	CM50	(-)	0.27	0.25	(-)
	CW50	(-)	0.27	0.23	(-)
	CM52	(-)	0.23	0.21	(-)
BIAS	CM50	(-)	-0.17	-0.10	(-)
	CW50	(-)	-0.17	-0.08	(-)
	CM52	(-)	-0.11	0.02	(-)
SI	CM50	(-)	0.14	0.16	(-)
	CW50	(-)	0.14	0.15	(-)
	CM52	(-)	0.12	0.14	(-)
CO	CM50	(-)	0.99	0.92	(-)
	CW50	(-)	0.98	0.94	(-)
	CM52	(-)	0.99	0.93	(-)

Figuur 5.3. Tijdslijn statistische parameters voor Hm0 op locatie BRB2DB voor de periode december 2015-maart 2016 bij stormcondities. (-) geen storm gekozen in december 2015 en maart 2016

Hm0	BRB1GB	December 2015	Januari 2016	Februari 2016	Maart 2016
RMSE	CM50	(-)	0.12	0.16	(-)
	CW50	(-)	0.12	0.16	(-)
	CM52	(-)	0.14	0.19	(-)
BIAS	CM50	(-)	-0.03	-0.04	(-)
	CW50	(-)	-0.02	-0.02	(-)
	CM52	(-)	0.09	0.12	(-)
SI	CM50	(-)	0.07	0.12	(-)
	CW50	(-)	0.07	0.12	(-)
	CM52	(-)	0.08	0.14	(-)
CO	CM50	(-)	0.98	0.94	(-)
	CW50	(-)	0.98	0.95	(-)
	CM52	(-)	0.98	0.95	(-)

Figuur 5.4. Tijdslijn statistische parameters voor Hm0 op locatie BRB1GB voor de periode december 2015-maart 2016 bij stormcondities. (-) geen storm gekozen in december 2015 en maart 2016

Hm0	TRGGB1	December 2015	Januari 2016	Februari 2016	Maart 2016
RMSE	CM50	(-)	0.23	0.26	(-)
	CW50	(-)	0.22	0.24	(-)
	CM52	(-)	0.18	0.18	(-)
BIAS	CM50	(-)	-0.15	-0.18	(-)
	CW50	(-)	-0.11	-0.15	(-)
	CM52	(-)	-0.03	-0.05	(-)
SI	CM50	(-)	0.11	0.16	(-)
	CW50	(-)	0.10	0.15	(-)
	CM52	(-)	0.08	0.11	(-)
CO	CM50	(-)	0.96	0.96	(-)
	CW50	(-)	0.96	0.95	(-)
	CM52	(-)	0.96	0.95	(-)

Figuur 5.5. Tijdslijn statistische parameters voor Hm0 op locatie TRGGB1 voor de periode december 2015-maart 2016 bij stormcondities. (-) geen storm gekozen in december 2015 en maart 2016

Hm0	WHIDW1	December 2015	Januari 2016	Februari 2016	Maart 2016
RMSE	CM50	0.18	0.20	(*)	(*)
	CW50	0.26	0.28	(*)	(*)
	CM52	0.18	0.19	(*)	(*)
BIAS	CM50	0.00	-0.09	(*)	(*)
	CW50	0.02	-0.02	(*)	(*)
	CM52	0.01	-0.08	(*)	(*)
SI	CM50	0.12	0.13	(*)	(*)
	CW50	0.18	0.18	(*)	(*)
	CM52	0.12	0.12	(*)	(*)
CO	CM50	0.96	0.98	(*)	(*)
	CW50	0.91	0.94	(*)	(*)
	CM52	0.96	0.98	(*)	(*)

Figuur 5.6. Tijdslijn statistische parameters voor Hm0 op locatie WHIDW1 voor de periode december 2015-maart 2016 over de volledige periode per maand. (*): grote leemtes in meetgegevens boei WHIDW1

Hm0	BRB5DB	December 2015	Januari 2016	Februari 2016	Maart 2016
RMSE	CM50	0.23	0.20	0.19	0.18
	CW50	0.23	0.26	0.24	0.24
	CM52	0.24	0.20	0.18	0.18
BIAS	CM50	0.10	-0.00	-0.04	-0.03
	CW50	0.04	-0.03	-0.04	-0.05
	CM52	0.12	0.02	-0.02	-0.01
SI	CM50	0.19	0.15	0.14	0.17
	CW50	0.19	0.20	0.17	0.22
	CM52	0.20	0.15	0.13	0.17
CO	CM50	0.91	0.96	0.96	0.95
	CW50	0.89	0.94	0.93	0.91
	CM52	0.91	0.96	0.96	0.95

Figuur 5.7. Tijdslijn statistische parameters voor Hm0 op locatie BRB5DB voor de periode december 2015-maart 2016 over de volledige periode per maand.

Hm0	BRB3GB	December 2015	Januari 2016	Februari 2016	Maart 2016
RMSE	CM50	0.27	0.31	0.19	(+)
	CW50	0.25	0.31	0.22	(+)
	CM52	0.30	0.32	0.22	(+)
BIAS	CM50	0.19	0.07	0.05	(+)
	CW50	0.18	0.07	0.08	(+)
	CM52	0.23	0.11	0.10	(+)
SI	CM50	0.31	0.30	0.18	(+)
	CW50	0.29	0.29	0.20	(+)
	CM52	0.35	0.31	0.20	(+)
CO	CM50	0.87	0.91	0.94	(+)
	CW50	0.86	0.91	0.93	(+)
	CM52	0.87	0.91	0.95	(+)

Figuur 5.8. Tijdslijn statistische parameters voor Hm0 op locatie BRB3GB voor de periode december 2015-maart 2016 over de volledige periode per maand. (+) geen boei op locatie BRB3GB

Hm0	BRB4GB	December 2015	Januari 2016	Februari 2016	Maart 2016
RMSE	CM50	0.24	0.25	0.22	0.21
	CW50	0.22	0.27	0.24	0.24
	CM52	0.28	0.26	0.21	0.21
BIAS	CM50	0.15	0.03	-0.04	-0.02
	CW50	0.10	-0.01	-0.06	-0.03
	CM52	0.21	0.08	0.03	0.03
SI	CM50	0.24	0.23	0.18	0.23
	CW50	0.23	0.24	0.20	0.26
	CM52	0.29	0.23	0.17	0.22
CO	CM50	0.90	0.94	0.93	0.91
	CW50	0.88	0.93	0.93	0.88
	CM52	0.91	0.94	0.94	0.91

Figuur 5.9. Tijdslijn statistische parameters voor Hm0 op locatie BRB4GB voor de periode december 2015-maart 2016 over de volledige periode per maand.

Hm0	BRB2DB	December 2015	Januari 2016	Februari 2016	Maart 2016
RMSE	CM50	0.23	0.22	0.19	0.19
	CW50	0.21	0.21	0.19	0.21
	CM52	0.29	0.26	0.23	0.22
BIAS	CM50	0.18	0.13	0.08	0.06
	CW50	0.15	0.10	0.08	0.06
	CM52	0.25	0.19	0.16	0.13
SI	CM50	0.35	0.29	0.22	0.28
	CW50	0.32	0.28	0.23	0.30
	CM52	0.45	0.34	0.27	0.32
CO	CM50	0.88	0.94	0.93	0.88
	CW50	0.87	0.94	0.92	0.86
	CM52	0.88	0.94	0.93	0.89

Figuur 5.10. Tijdslijn statistische parameters voor Hm0 op locatie BRB2DB voor de periode december 2015-maart 2016 over de volledige periode per maand.

Hm0	BRB1GB	December 2015	Januari 2016	Februari 2016	Maart 2016
RMSE	CM50	0.31	0.26	0.20	0.22
	CW50	0.29	0.24	0.21	0.23
	CM52	0.37	0.32	0.26	0.25
BIAS	CM50	0.27	0.19	0.11	0.12
	CW50	0.25	0.17	0.11	0.12
	CM52	0.34	0.27	0.20	0.18
SI	CM50	0.70	0.44	0.29	0.39
	CW50	0.66	0.41	0.29	0.41
	CM52	0.84	0.54	0.37	0.44
CO	CM50	0.84	0.93	0.91	0.84
	CW50	0.83	0.94	0.91	0.82
	CM52	0.85	0.94	0.91	0.86

Figuur 5.11. Tijdslijn statistische parameters voor Hm0 op locatie BRB1GB voor de periode december 2015-maart 2016 over de volledige periode per maand.

Hm0	TRGGB1	December 2015	Januari 2016	Februari 2016	Maart 2016
RMSE	CM50	0.28	0.25	0.19	0.19
	CW50	0.26	0.24	0.20	0.21
	CM52	0.33	0.28	0.21	0.21
BIAS	CM50	0.22	0.13	0.03	0.04
	CW50	0.20	0.12	0.04	0.04
	CM52	0.29	0.20	0.11	0.10
SI	CM50	0.45	0.31	0.21	0.28
	CW50	0.43	0.30	0.23	0.31
	CM52	0.54	0.36	0.24	0.30
CO	CM50	0.85	0.94	0.92	0.87
	CW50	0.83	0.94	0.91	0.84
	CM52	0.85	0.94	0.93	0.88

Figuur 5.12. Tijdslijn statistische parameters voor Hm0 op locatie TRGGB1 voor de periode december 2015-maart 2016 over de volledige periode per maand.

Reference to this report:

Ortega Yamamoto, H., H. Komijani, J. Monbaliu, 2016. *Monitoring Broersbank – Resultaten Modelleren (periode Dec 2015 – Mar 2016)*. Monitoring Broersbank_214339_R11 in opdracht van Afdeling Kust - Agenschap Maritieme Dienstverlening en Kust - Vlaamse Overheid, Laboratorium voor Hydraulica KU Leuven, 23-12-2016.